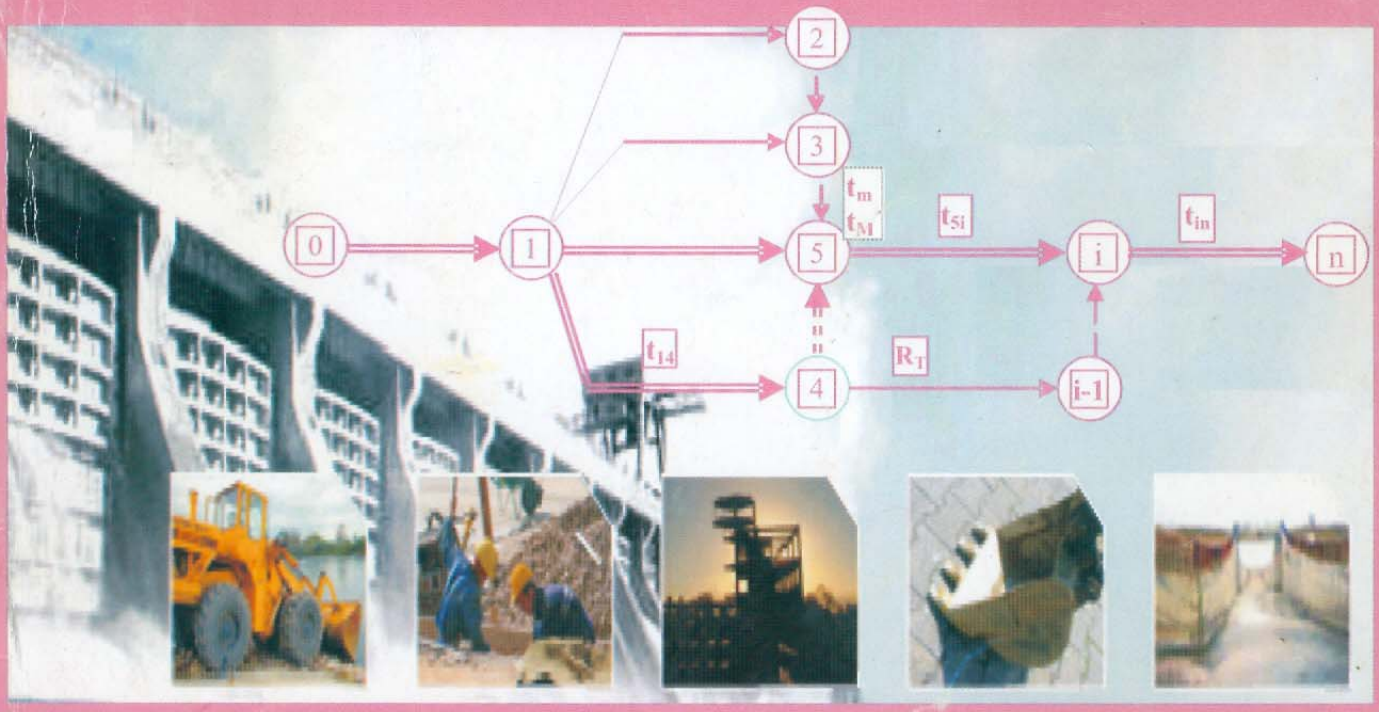
Ioan CRĂCIUN

ORGANIZAREA LUCRĂRILOR DE CONSTRUCȚII HIDROTEHNICE



PERFORMANTICA

Editura PERFORMANTICA
performantica@inventicaincd.ro
Iaşi, Bd. Carol I nr. 3-5
tel/fax: 0232-214763

Descrierea CIP a Bibliotecii Naţionale a României

CRACIUN IOAN
Organizarea lucrarilor de constructii hidrotehnice/
Ioan Craciun ;
Iaşi : Performantica 2005
ISBN 973-730-226-5

Consilier editorial:
prof. dr. Traian Stănciulescu

Secretar de redacţie:
Octav Păuneţ

EDITURĂ ACREDITATĂ DE CNCSIS BUCUREŞTI, 1142/30.06.2003

Copyright © 2005
Toate drepturile asupra acestei ediții sunt rezervate autorului

Ioan Crăciun

ORGANIZAREA LUCRĂRILOR DE CONSTRUCȚII HIDROTEHNICE

Editura PERFORMANTICA
IAŞI - 2005

CUPRINS

	Introducere	5
1.	**Elemente privind normarea activității de construcții**	8
1.1	Structura activității de construcții……..	8
1.2	Structura timpului de muncă a executantului şi a timpului de folosire a utilajului	9
1.3	Elemente privind structura normelor de muncă în construcții	15
2.	**Organizarea execuției lucrărilor de construcții hidrotehnice**	19
2.1	parametrii organizării execuției proceselor de construcții	20
2.1.1	Parametri organizatorici	21
2.1.2	Parametri de desfăşurare în spațiu	23
2.1.3	Parametri de desfăşurare în timp	24
2.2	Relația de bază între parametrii organizării execuției proceselor de construcție	29
2.3	Metode de organizare a execuției lucrărilor de construcții	31
2.3.1	Metoda succesivă	32
2.3.2	Metoda în paralel	35
2.3.3	Metoda în lanț	36
2.4	Principiile de bază pentru organizare execuției în lanț	37
2.5	Tipuri de lanțuri în organizarea execuției proceselor de construcții	38
2.5.1	Lanț complex ritmic	38
2.5.2	Lanțul complex ritmic, cu ritmuri diferite de la un ciclu la altul	39
2.6	Reducerea timpilor de aşteptare între cicluri cu ritmuri de lucru diferite prin introducerea lucrului în mai multe schimburi	41
2.7	Reducerea timpilor de aşteptare între cicluri cu ritmuri de lucru diferite prin modulare	41
2.8	Lanț complex neritmic	43
2.9	Principii şi modalități de stabilire a parametrilor organizării lucrărilor liniare	44
2.9.1	Stabilirea numărului şi conținutului ciclurilor	44
2.9.2	Determinarea numărului de sectoare la lucrări liniare	44
2.9.3	Determinarea ritmului de lucru şi a numărului de muncitori	45
2.9.3.1	Calculul parametrilor timp (t) şi resursă umană (M) pentru procese complexe de săpătură manuală	45
3.	**Programarea execuției lucrărilor de construcții**	49
3.1	Modele de analiză a drumului critic (ADC)……..	50
3.1.1	Elemente de teoria grafurilor	50
3.1.1.1	Definiția unui graf	50
3.1.1.2	Gradele unui graf……..	53
3.1.1.3	Subgrafuri…….	54

3.1.1.4 Operaţii cu grafuri..... 55
3.1.1.5 Clase de grafuri..... 56
3.1.1.6 Drumuri şi circuite..... 57
3.2 Natura şi reprezentarea activităţilor în metoda drumului critic…… 59
3.2.1 Metoda CPM (Critical Path Method)…… 59
3.2.2 Metoda MPM (Mathematical Path Method)…… 64
3.3 Programarea prin analiza parametrului timp prin reţele tip CPM..... 68
3.3.1 Analiza proiectului şi stabilirea listei activităţilor…… 68
3.3.2 Elaborarea graficului reţea…… 70
3.3.3 Stabilirea duratelor activităţilor…… 71
3.3.4 Calculul elementelor graficului reţea…… 72
3.3.5 Transpunerea calendaristică a graficului reţea……. 81
3.4 Elaborarea graficelor reţea tip MPM..... 83
3.5 Grafuri reţea integrate şi condensate..... 87
3.6 Actualizarea grafurilor în ADC..... 91
3.7 Programarea cu analiza timpului şi a resurselor..... 92
3.7.1 Clasificarea resurselor..... 93
3.7.2 Parametrii resurselor..... 93
3.7.3 Programarea cu alocarea resurselor..... 95
3.7.3.1 Algoritmul Kelly..... 95
3.7.4 Programarea cu nivelarea resurselor..... 100
3.7.4.1 Procedeul euristic Burgess-Killbrew..... 101
3.8 Programe cu analiza timpului, resurselor şi costului..... 105
3.8.1 Costurile unei activităţi de construcţie..... 106
3.8.2 Costul total al execuţiei unui proiect de construcţie..... 107
3.9 Elemente de analiză a eficienţei privind organizarea execuţiei lucrărilor de construcţii..... 109

4 Elemente de organizare a şantierelor de construcţii hidrotehnice..... 117
4.1 Organizarea şantierelor de construcţii hidrotehnice..... 117
4.2 Proiectul de organizare de şantier..... 118
4.3 Reducerea cheltuielilor de organizare de şantier ca urmare a minimizării lungimii reţelelor de utilităţi..... 128
4.3.1 Minimizarea lungimii reţelelor de utilităţi..... 134
4.3.1.1 Algoritmii Kruksal şi Prim..... 135
4.4 Aprovizionarea cu materiale a şantierelor de construcţii hidrotehnice..... 138

Bibliografie..... 143

PREFAȚĂ

Lucrarea expune principalele probleme ale organizării lucrărilor de construcții cu particularizări asupra lucrărilor hidrotehnice.

Prin modul de tratare şi sistematizare, în strânsă concordanță cu disciplinele cu care organizarea lucrărilor de construcții se află în interdependență (tehnologia construcțiilor, amenajările hidrotehnice, materiale de construcții, beton, statica construcțiilor, rezistența materialelor, programarea calculatoarelor, informatica aplicată etc.), este o lucrare care îmbină cunoştințele teoretice cu cerințele practice. Conținutul este organizat în patru capitole şi anume: normarea în construcții, organizarea execuției lucrărilor de construcții, programarea execuției lucrărilor de construcții şi organizarea şantierelor de construcții hidrotehnice.

Succesiunea şi ordonarea capitolelor s-a făcut în raport cu importanța problemelor tratate pentru activitatea practică, iar după parcurgerea lor, cititorul să aibă cunoştințele necesare care să-i permită o aprofundare şi o valorificare eficientă în sectoarele adecvate.

În scopul măririi accesibilității materialului, prezentarea teoretică a problemelor este susținută de o parte grafică la care se adaugă relații de calcul şi tabele; s-a recurs de asemenea, la numeroase exemple de calcul.

Prin conținutul şi problematica tratată, lucrarea este utilă studenților şi inginerilor din domeniul construcțiilor.

INTRODUCERE

Disciplina de organizare a lucrărilor de construcţii are puncte comune cu celelalte discipline de studiu, parcurgând aceleaşi etape de la aspecte empirice la fundamentări ştiinţifice ca şi disciplinele definitorii profesiei de constructor (tehnologia construcţiilor, beton, statica construcţiilor, rezistenţa materialelor, materiale de construcţii etc.)

Procesele care se desfăşoară în domeniul construcţiilor se împart în:

- *procese naturale* care au ca domenii de cercetare cunoaşterea şi folosirea cât mai completă a caracteristicilor mecanice şi fizice ale materialelor în scopul asigurării caracteristicilor de funcţionalitate, durabilitate şi economicitate a construcţiilor;
- *procese organizatorice*, care au ca domeniu de cercetare sistemul de relaţii şi dependenţe care se creează între elementele procesului (forţa de muncă, mijloacele de muncă), determinate de acţiuni orientate spre atingerea unui scop, adică realizarea elementul de construcţie stabilit cantitativ şi calitativ pe bază de indicatori tehnico-economici.

Evoluţia organizării ca ştiinţă a fost cauzată de:

- necesitatea realizării unui volum de construcţii adecvat nevoilor umane din ce în ce mai mari;
- complexitatea în creştere a proceselor de construcţie datorat tehnologiilor moderne şi a noilor materiale utilizate;
- necesitatea realizării unor construcţii tot mai complexe, în limitele unor indicatori tehnico-economici optimi cum ar fi: durata de execuţie mai mică, costul execuţiei lucrării mai redus, posibilitatea efectuării lucrărilor de construcţie pe toată durata anului, etc.

Caracterul de metodă ştiinţifică este dat de aplicarea unor metode fundamentate ştiinţific. Acestea presupun următoarele aspecte specifice:

- posibilitatea de a realiza modele fizice sau abstracte;
- posibilitatea de a efectua experienţe şi observaţii;
- existenţa unor unităţi de măsură specifice;
- definirea exactă a noţiunii şi găsirea unor relaţii cantitative între mărimi specifice proceselor de construcţie.

Originea disciplinei de organizare se află în dezvoltarea industrială din S.U.A. în secolele XIX-XX şi din necesitatea de a eficientiza activitatea de producţie de bunuri.

Fondatorul principiilor organizării producţiei este J.F.Taylor care în cartea ”*Principii şi metode de conducere ştiinţifică*”, publicată în anul 1911 foloseşte pentru prima dată termenul de *management* pentru a defini ştiinţa generală a organizării şi conducerii.

Conform dicţionarului limbii engleze sensul acestui termen este de „*proiectare, planificare, administrare, control şi dirijare a unei activităţi îndreptată spre un scop bine determinat, cu maximum de eficienţă*”. În limba română sensul acestui termen este cel de „*organizare şi conducere*”.

Etimologic cuvântul organizare derivă din grecescul *organon* echivalent cu termenul de *instrument* şi semnifică activitatea de obţinere a unui instrument care să servească atingerii unui scop.

Sub aspect teoretic şi practic organizarea în construcţii reprezintă totalitatea activităţilor de concepţie şi proiectare pentru:

- programarea în timp şi spaţiu a execuţiei construcţiilor;
- dimensionarea, distribuirea, amplasarea şi evaluarea în condiţii tehnice şi economice optime a mijloacelor de producţie şi a forţei de muncă conform programării în timp şi spaţiu.

În activitatea de construcţii se disting două subdomenii:

- organizarea producţiei de construcţii;
- managementul producţiei de construcţii.

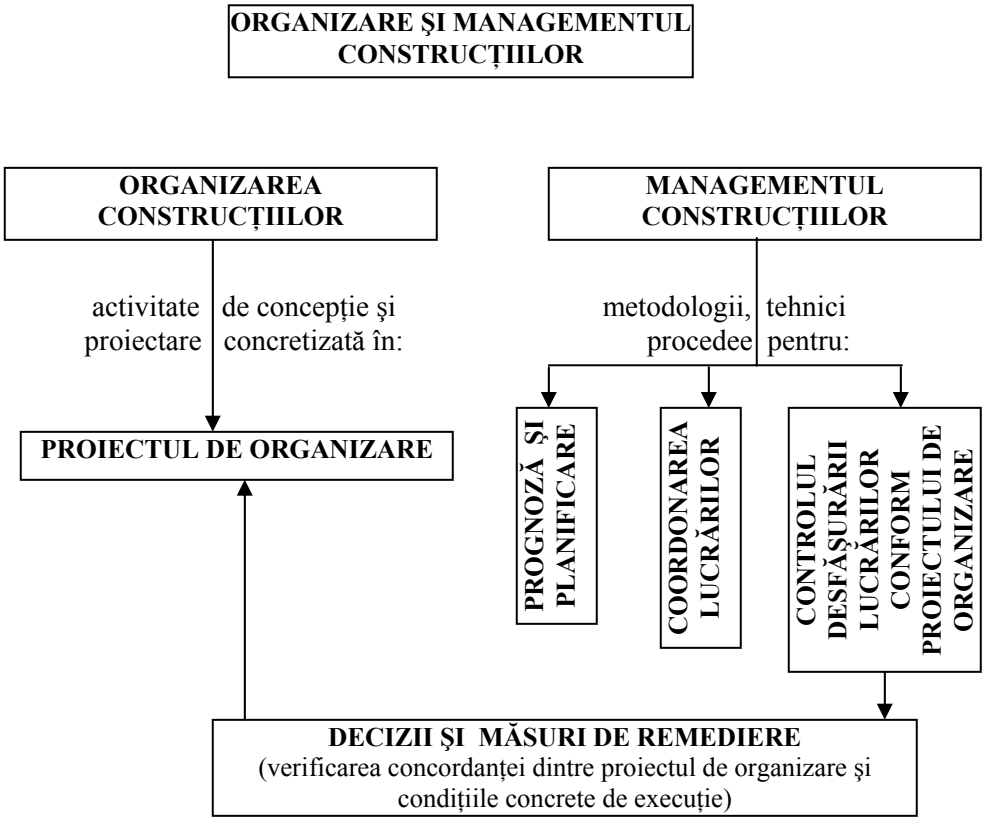


Figura 1 Schema interdependenţei dintre organizarea şi managementul activităţii de construcţii [Hagiu V., Şerbănoiu I., 1987]

1. ELEMENTE PRIVIND NORMAREA ACTIVITĂȚII DE CONSTRUCȚII

1.1. STRUCTURA ACTIVITĂȚII DE CONSTRUCȚII

Activitatea de construcţii este deosebit de complexă realizându-se cu echipe de muncitori şi/sau utilaje cu calificare foarte diversă.

Diviziunea unui proces de construcție în elemente mai simple, omogene din punct de vedere tehnologic şi care se pot atribui unui executant sau unui utilaj este necesară pentru o bună organizare şi coordonare. Astfel un proces de construcție se poate diviza în:

- *procese simple* – părți ale procesului de producție, care se execută într-un interval de timp de un executant pe un amplasament şi care acționează asupra unor obiecte de muncă în cadrul aceleiaşi construcții. Aceste procese simple fac obiectul normării activității de construcții.
- *operații* – părți ale procesului simplu, caracterizate de regim tehnologic specific obiectul de construcție suferind o singură transformare. Şi aceste elemente pot face obiectul normării activității de construcții.

De exemplu, confecționarea cilindrilor din fascine de nuiele cu miez de pietriş utilizați în consolidarea şi apărarea malurilor de râuri şi în corectarea cursurilor de apă presupune parcurgerea operațiilor următoare:

- *manipularea fascinelor pe locul de lucru;*
- *manipularea materialului pietros;*
- *strângerea şi legarea cilindrilor cu sârmă;*
- *rostogolirea cilindrilor la maximum 5 m de locul de lucru.*

În unele cazuri operațiile pot fi descompuse în *treceri***,** adică părți ale operației care se repetă identic cu acelaşi regim de lucru şi pe acelaşi loc de muncă.

De exemplu, operaţiunea de vopsitorie sau zugrăveală a unei suprafeţe poate presupune, în funcţie de gradul de finisare dorit, două treceri pentru o calitate obişnuită sau trei sau patru treceri pentru o calitate superioară.

- *mânuirile* - reprezintă un grup de mişcări ale unui executant, determinate de un scop definit a cărui durată depinde direct de proprietăţile obiectelor (greutate, mărime, formă etc.) asupra cărora executantul trebuie să acţioneze.

Astfel, operaţia de manipulare a fascinelor pe locul de lucru, cuprinde următoarele mânuiri: ridicarea din stivă a fascinelor, transportul şi depunerea lângă caprele de lemn a nuielelor sau fascinelor de nuiele, aşezarea nuielelor sau fascinelor de nuiele pe partea orizontală şi pe părţile laterale ale suportului în albie, completarea cilindrului cu nuiele sau fascine de nuiele după executarea miezului din piatră [IGSDCPE, 1974].

O mânuire poate fi executată o singură dată în cursul unei operaţii sau poate fi repetată. *De exemplu, mânuirea de aşezare a nuielelor sau fascinelor pentru confecţionarea cilindrilor din fascine de nuiele este o mânuire repetată.*

Descompunerea unei *mânuiri* în *mişcări* se face cu scopul de a cerceta posibilităţile de a economisi efortul executantului şi de asemenea, pentru a putea fi utilizat în activităţile de dimensionare a normelor din construcţii. În condiţiile actuale antreprizele de construcţii care dispun de capacitatea de a dimensiona normele în construcţii sau de a asimila unele articole din normele de deviz îşi pot dimensiona şi întocmi propriile *indicatoare de norme de deviz*.

1.2. STRUCTURA TIMPULUI DE MUNCĂ A EXECUTANTULUI ŞI A TIMPULUI DE FOLOSIRE A UTILAJULUI

Multe din activităţile de construcţii sunt activităţi care utilizează utilaje de construcţii. Este cazul activităţilor de săpături mecanizate, turnării betoanelor cu pompa de beton, excavaţiilor mecanizate, etc.

Pentru dimensionarea consumului de timp al executantului şi utilajelor de construcţii este necesară determinarea componentelor timpului de muncă (T_M) adică timpul de care dispune un executant pentru a-şi îndeplini norma de muncă.

Timpul productiv (T_P) este timpul alocat de un executant pentru realizarea unei sarcini de muncă.

Timpul de pregătire şi de încheiere ($T_{pî}$) este timpul necesar la începutul schimbului de lucru pentru primirea şi examinarea planurilor şi detaliilor de execuţie pentru primirea sculelor şi dispozitive iar la terminarea schimbului pentru predarea planurilor şi sculelor.

Timpul operativ (T_{op}) este timpul necesar unui executant pentru a efectua şi modifica cantitativ şi calitativ elementul de construcţie.

Timpul de bază (t_b) este acel timp în cursul căruia un executant participă la execuţia unei activităţi de construcţie. În cazul activităţii de transport acest timp se identifică cu timpul de deplasare a produselor.

Timpul ajutător (t_a) este acel timp în cursul căruia nu se modifică cantitativ sau calitativ un material de construcţie dar executantul efectuează mânuiri, necesare efectuării acestei modificări. *De exemplu, verificarea taluzului efectuat în urma unor săpături manuale sau mecanizate la o canalizare etc.*

Timpul de bază şi cel ajutător pot fi:

- *timpul de muncă manuală* (t_m);
- *timpul de muncă manual-mecanic* (t_{mm});
- *timpul de supraveghere a funcţionării utilajului* (t_{sf}).

Timpul în care executantul menţine în stare de funcţionare utilajele şi sculele cât şi aprovizionarea şi organizarea locului de muncă formează *timpul de asigurarea a locului de muncă* (t_a).

Timpul de deservire tehnică (***t_{dt}***) a locului de muncă este acel timp în care un executant asigură menținerea în stare normală de funcționare a utilajului şi sculelor cu care execută activități de construcție.

Timpul de deservire organizatorică (***t_{do}***) a locului de muncă este acel timp în care executantul asigură pe perioada programului de lucru aprovizionarea cu materiale şi curățarea locului de muncă la sfârşitul programului.

Timpul neproductiv (***T_N***) este acel timp în care au loc întreruperi în munca executantului şi nu se efectuează activități normate.

Timpul de întreruperi reglementate (***$T_{îr}$***) este timpul în care activitatea de construcție este întreruptă dar care este inclus în norme.

Timpul de odihnă şi necesități fireşti (***t_{on}***) este acel timp în care procesul de construcție este întrerupt pentru menținerea capacității de muncă şi satisfacerii necesităților fiziologice şi de igienă personală în decursul timpului de muncă.

Timpul de întreruperi condiționate de tehnologie şi de organizarea muncii (***t_{to}***) este timpul în cursul căruia activitățile de construcție sunt întrerupte şi care rezultă din tehnologia şi organizarea procesului de construcție prevăzute la locul de muncă respectiv.

Timpul de muncă neproductiv (***T_{mn}***) este timpul în care executantul efectuează o activitate care nu este necesară desfăşurării conform normelor a activității. *De exemplu, timpul de refacere a unui cofraj montat incorect din neglijența executantului.*

Timpul de întreruperi nereglementate (***$T_{în}$***) este timpul neproductiv în care procesul de muncă este întrerupt din cauze nereglementate şi care nu intră în structura normei de timp.

Timpul de întreruperi independente de executant (***t_i***) este timpul de întreruperi datorat cauzelor organizatorice, tehnice sau naturale ce nu depind de

executant. *De exemplu, întreruperea furnizării cu energie electrică, nelivrarea la timp a betonului etc.*

Timpul de întreruperi dependent de executant (t_d) este timpul de întrerupere cauzat de încălcarea programului de lucru. *De exemplu, întârzierea începerii lucrului, părăsirea locului de munca nejustificata etc.*

Shemele timpului executantului este prezentata în figura 1.1.

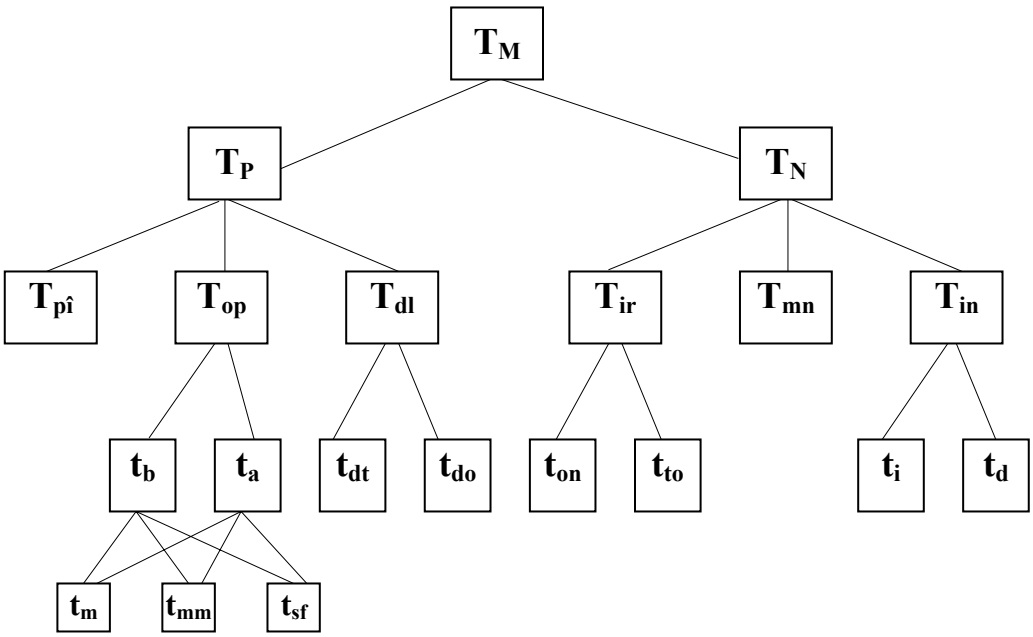


Figura 1.1 Schema timpului de muncă a executantului

În cazul proceselor mecanizate în normele de construcţii apare *timpul de folosire a utilajului* adică timpul disponibil pe întreaga perioadă a schimbului de muncă pentru folosirea unui utilaj ($\boldsymbol{T_{FU}}$).

Acesta cuprinde timpul de funcţionare utilă, timpul de funcţionare inutilă şi timpul de nefuncţionare a utilajului respectiv.

Timpul de funcţionare utilă ($\boldsymbol{T_{fu}}$) este *timpul de funcţionare în sarcină* a utilajului ($\boldsymbol{t_{fs}}$) şi *timpul de funcţionare în gol* ($\boldsymbol{t_{fg}}$).

Timpul de funcţionare inutilă (***T_{fi}***) este timpul în care utilajul se află în stare de funcţionare dar în care nu efectuează un proces mecanizat de construcţie sau funcţioneaza în gol fără să fie necesar acest lucru.

Timpul de nefuncţionare a utilajului (***T_{nf}***) este timpul în care utilajul nu se află în funcţiune datorită întreruperilor reglementate şi nereglementate în funcţionarea lui.

Timpul de întreruperi ale funcţionării utilajului corespunzător *timpului de odihnă şi necesităţi fireşti ale executantului* (***t_{onu}***) este timpul în care utilajul nu funcţionează din cauza faptului că executantul este în pauză de odihnă reglementată şi necesităţi fireşti [Hagiu V., Şerbănoiu I., 1987].

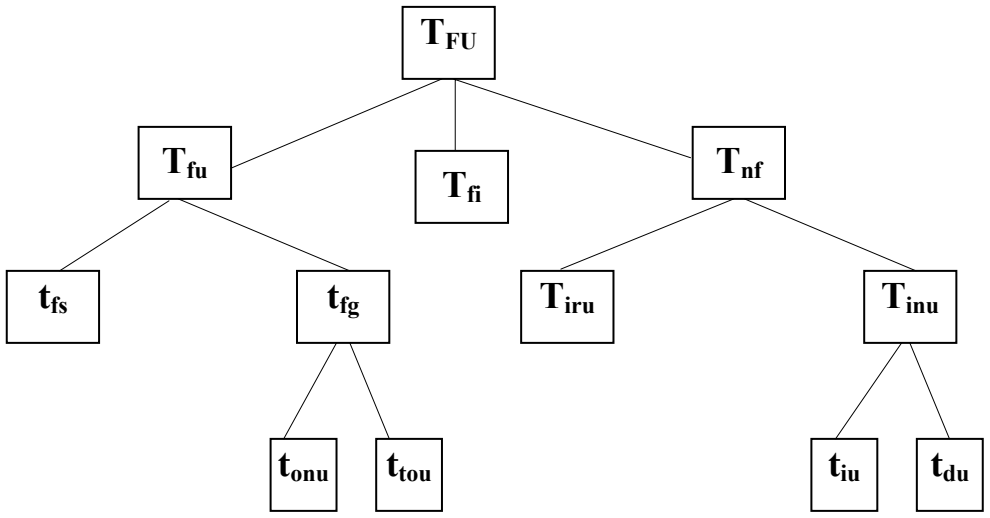


Figura 1.2 Structura timpului de folosire a utilajului

Timpul de întrerupere a funcţionării utilajului condiţionat de *tehnologie şi de organizarea muncii* (***t_{tou}***) este timpul de nefuncţionare a utilajului impus de tehnologie sau de organizarea procesului prevăzut la locul de muncă respectiv.

Timpul de întreruperi independente de utilaj (t_{iu}) este timpul de întreruperi reglementate de norme din cauza lipsei combustibilului, energiei electrice etc.

Timpul de întreruperi dependente de utilaj (t_{du}) este timpul de întreruperi în funcționarea utilajului din cauza defectării acestuia.

Cunoaşterea structurii timpului de muncă a executantului şi de folosire a utilajului este utilă în activitatea antreprizelor de construcții în cazul în care se doreşte asimilarea unor norme de construcții sau proiectarea altora noi din cauza utilizării unor materiale noi sau a folosirii unor utilaje moderne în cazul proceselor mecanizate.

Activitățile de construcții sunt divizate până la nivelul de mânuiri, manipulări, operații după care se poate aplica unul din procedeele următoare:

- *cronometrarea*, metodă de măsurare şi analiză sistematică în mod critic a duratei elementelor unui proces de construcție; prin acest procedeu se obține de regulă timpul operativ sau timpul de funcționare utilă a utilajului de construcție;
- *fotografierea*, metodă de măsurare continuă şi de analiză critică a duratei tuturor elementelor unui proces de construcție, a întreruperilor acestuia sau a timpului de folosire a utilajului pe parcursul desfăşurării activității de construcție; este o metodă utilă în stabilirea timpului de pregătire şi încheiere, a timpului de deservire a locului de muncă, a pauzelor necesare pentru odihnă şi necesități fireşti, studierea gradului de ocupare a muncitorilor şi a gradului de utilizare extensivă a utilajului, stabilirea normelor de servire, a normelor şi normativelor pentru manoperă etc.
- *fotocronometrarea*, metodă de măsurare şi analiză critică a elementelor unui proces de muncă sau a timpului de folosire a utilajului, prin combinarea fotografierii cu cronometrarea timpului de muncă sau de folosire a utilajului în anumite perioade ale acestuia; se poate studia gradul de folosire a timpului de

muncă consumat cât şi consumul de timp operativ defalcat pe elemente componente: operaţii, mânuiri şi mişcări;

- *metoda observaţiilor instantanee*, adică metoda de măsurare a unor activităţi de construcţii prin sondaj şi observaţii discontinue; este o metoda statistico-matematică bazată pe calculul probabilităţilor; pentru a obţine rezultate bune este necesar să se îndeplinească condiţiile următoare: număr de observaţii suficient de mari, perioadă de observaţii lungă, observaţiile se efectuează la întâmplare pentru a respecta caracterul aleator al variabilelor, observaţiile trebuie să fie instantanee pentru a înregistra exact evenimentul în momentul observării [Hagiu V., Şerbănoiu I., 1987].

1.3. ELEMENTE PRIVIND STRUCTURA NORMELOR DE MUNCĂ ÎN CONSTRUCŢII

Norma de muncă reprezintă activitatea care trebuie efectuată de un muncitor raportată la unitatea de măsură specifică în condiţii tehnologice şi organizatorice stabilite. Se pot exprima sub formă de: norme de timp, norme de producţie, responsabilităţi stabilite pentru activităţi specifice.

Norma de timp se poate stabili pentru un muncitor sau pentru o formaţie compusă din mai mulţi muncitori şi se exprimă în unităţi de timp: om-ore pe unitatea de măsură specifică procesului (om · ore/m, om · ore/m^2, om · ore/m^3, om · ore/bucată etc.). Dimensiunea normei de timp se stabileşte pentru o lucrare de calitate conform cu prescripţiile de execuţie. Dacă pentru execuţie acelei activităţi este necesară o formaţie de muncitori, norma de timp cuprinde timpul total de muncă necesar pentru toţi muncitorii din formaţia respectivă [Dima A., 1989].

Relaţia dintre norma de timp $\boldsymbol{N_T}$ şi durata normată de execuţie a unităţii de proces $\boldsymbol{d_u}$ este:

$$d_u = N_T/m \qquad (1.1)$$

unde ***m*** este numărul de muncitori din formația minimă stabilită prin normă.

Norma de producție exprimă cantitatea de lucrări executată într-o unitate de timp de către executant în condiții tehnico-organizatorice precizate. Se exprimă în unități de măsură speciice pe unitatea de timp (m/oră, m^2/oră, m^3/oră etc.).

Timpul de muncă pe un şantier de construcție poate fi:

- *timp productiv* care cuprinde timpul necesar pentru a realiza activități de construcții specifice;
- *timp neproductiv* ce cuprinde toate categoriile de timp cheltuite pentru acțiuni inutile sau evitabile sau pentru întreruperi de activitate

În structura normei de timp intră timpul necesar pentru efectuarea unei lucrări în condiții tehnice şi organizatorice raționale şi cuprinde consumul de timp de muncă pentru acțiuni utile şi pentru întreruperi absolut necesare, fără de care nu se poate realiza activitatea de construcție. În norma de timp se include deci timpul productiv cît şi timpul corespunzător întreruperilor cu caracter reglementat. Suma acestor două categorii de timp se numeşte norma de timp pentru executant (N_T) sau pentru utilaj (N_{TU}).

Activitatea de normare din cadrul antreprizelor de construcții trebuie să stabilească timpul normat pe baza căruia se dimensionează norma de timp dar şi timpul nenormat care se pierde din diferite cauze.

În figurile 1.3 şi 1.4 se prezintă structura normei de timp a executantului, respectiv structura normei de timp a utilajului [Hagiu V., Şerbănoiu I., 1987].

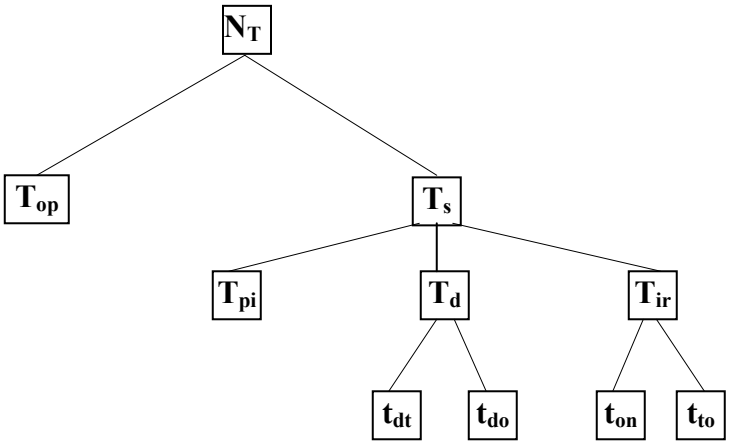


Figura 1.3 Structura normei de timp a executantului

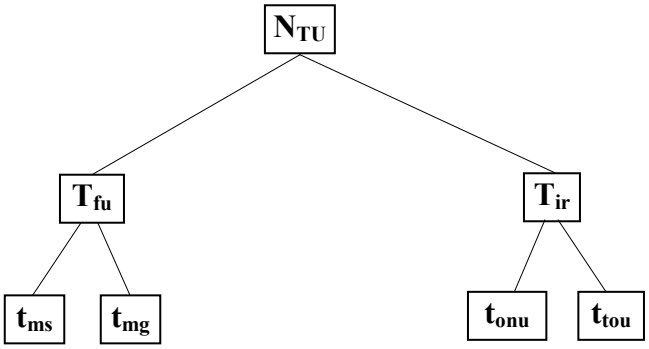


Figura 1.4 Structura normei de timp a utilajului

De exemplu, articolul H1A01A1 *depuneri de anrocamente în baraje compactate cu ruloul vibrator neted tractat în greutate de 11-13,5 tf, în strat mai mic de 1,5 m* are structura resurselor prezentată în figura 1.5. În urma normărilor efectuate s-au stabilit corespunzător responsabilităţilor şi calificării executanţilor, pentru o unitate de măsură de *o sută m^3 anrocamente puse în operă* următoarele norme de timp [ICCPD, 1977]:

- pietrar 3.2 - 3,829 ore;
- pietrar 6.2 - 1,417 ore;

- topograf 2.2 - 1,719 ore;

- săpător 2.1 - 0,633 ore;

- muncitor de deservire construcţii-montaj 3.2 - 9,56 ore.

Cod resursa Denumire resursa	U/M	Cantitate
1	2	3
2201244 PIATRA BRUTA NESORTATA DE CARIERA PT.ANROCAMENTE	M CUB	**110.000000**
0012932 PIETRAR 32	ORE	**3.829990**
0012962 PIETRAR 62	ORE	**1.417090**
0013222 TOPOGRAF 22	ORE	**1.914990**
0019621 SAPATOR 21	ORE	**0.633590**
0019932 MUNCITOR DESERV.CTII MONTJ. 32	ORE	**9.560000**
0003554 BULDOZER PE SENILE 81-180 CP	ORE	**1.890000**
0004011 RULOU COMPACTOR VIBRATOR NETED,TRACTAT,FARA TRACTOR;9,1-16TF	ORE	**2.420000**
0005609 TRACTOR PE SENILE DE 130 CP	ORE	**2.420000**
Greutate **209.000**	**Total ore**	**17.35**

Figura 1.5 Structura resurselor necesare realizării
normei de construcţii hidrotehnice H1A01A1

Pentru utilajele utilizate în efectuarea acestei lucrări de construcţii hidrotehnice s-au stabilit normele de timp următoare:

- buldozer pe şenile 81-180 CP - 1,89 ore;

- rulou compactor vibrator neted, tractat, fără tractor 9,1...16 TF - 2,42 ore;

- tractor pe şenile de 130 CP - 2,42 ore.

2. ORGANIZAREA EXECUȚIEI LUCRĂRILOR DE CONSTRUCȚII HIDROTEHNICE

Organizarea execuției lucrărilor de construcții este o activitate necesară în elaborarea proiectelor de organizare şi a documentației de licitare-ofertare în construcții. Astfel, se poate identifica posibilitatea de desfăşurare în timp şi spațiu pentru realizarea optimă şi rațională a unui obiect de construcție.

Pentru a putea organiza execuția unui obiect de construcție este necesar ca obiectul de construcție să se descompună în procese de construcție diferite ca natură şi complexitate în funcție de soluțiile constructive adoptate, de tehnologia disponibilă, de condițiile locale de execuție, de perioada de execuție etc. Această descompunere este impusă de necesitatea găsirii soluției optime de concepție privind execuția în timp şi spațiu a obiectului de construcție.

Procesele de construcție se pot clasifica astfel:

- *procese simple*, definite şi stabilite prin activitatea de normare în construcții (normele de muncă) reprezentând elementele primare de organizare a execuției lucrărilor de construcții;
- *procese complexe*, compuse din procese simple legate între ele prin considerente organizatorice cu o interdependență legată de tehnologia de execuție. *De exemplu, organizarea execuției procesului de construcție „săpătură pentru rețea de canalizare în teren uşor cu taluz vertical”,* cuprinde procesele simple de *săpătură manuală, sprijinirea malurilor pentru asigurarea stabilității taluzurilor şi siguranței muncitorilor care execută săpătura, evacuarea apelor din săpătură infiltrate sau rezultate din precipitații, transportul manual al pământului din zona de lucru.* Se observă dependența

dintre aceste procese simple săpătura fiind condiționată de sprijinire, sprijinirea de săpătură iar ambele fiind condiționate de evacuarea apei [INCERC, 1974];

- *ciclul de construcție*, este un proces complex definit în legătură cu organizarea prin metoda în lanț la construcțiile cu caracter repetitiv (*de ex. rețele de alimentare cu apă, rețele de canalizare, sisteme de irigații, sisteme de drenaj, canale navigabile, etc.);*

- *elementul de construcție* rezultat al succesiunii de procese simple şi/sau complexe în acea parte a obiectului de construcție care defineşte o anumită performanță a obiectului de construcție (*de ex. rezistența la diferite solicitări, stabilitatea la alunecare etc.).* Acest element de construcție face obiectul unui calcul de dimensionare;

- *subansamblul*, este definit ca o delimitare spațială pe considerente structurale a mai multor elemente de construcție (*de ex. fundațiile tip pahar şi fundația inelară aferente unui rezervor pentru înmagazinarea apei*);

- *ansamblul*, totalitatea subansamblelor care definesc părți distincte ale obiectului de construcție (*de exemplu, infrastructura sau suprastructura unei construcții*);

- *obiectul de construcție*, o construcție delimitată spațial având o destinație funcțională precizată (*de exemplu, o rețea de alimentare cu apă cu elementele componente (captarea apei, aducțiunea, rețeaua de distribuție, rezervoare de stocare a apei, instalații de pompare) care asigură utilitatea pentru care a fost proiectată)* [ICCPD, 1981].

2.1 PARAMETRII ORGANIZĂRII EXECUȚIEI PROCESELOR DE CONSTRUCȚII

În organizarea execuției proceselor de construcții intervin o serie de parametri care se grupează astfel:

- parametri organizatorici;

- parametri de desfăşurare în spaţiu;
- parametri de desfăşurare în timp.

2.1.1 PARAMETRI ORGANIZATORICI

Parametrii organizatorici sunt parametri de bază care caracterizează aspectele legate de stabilirea volumelor de lucrări, normarea în construcţii, resursele materiale, umane şi tehnice necesare execuţiei lucrărilor de construcţii.

Volumul de lucru $\boldsymbol{Q_i}$, reprezintă cantitatea aferentă unui proces ***i*** de construcţie. Acest parametru este stabilit prin antemăsurătoarea proiectului tehnic de execuţie (situaţia de lucrări), pe articole de deviz şi este exprimat în unităţi de măsură adecvate naturii procesului: m^3 pentru săpături manuale, turnări de betoane, zidării, anrocamente puse în operă pentru protecţia taluzurilor; *sute de* m^3 pentru săpături mecanizate; m^2, pentru tencuieli, pardoseli, rostuiri ale pereurilor pentru protecţia malurilor sau taluzelor barajelor; *bucăţi*, pentru prefabricate montate, cămine de vizitare montate pe reţeaua de canalizare, hidranţi de incendiu montaţi pe reţele de alimentare cu apă, etc. [Sălceanu Ctin., ş.a. 1992].

Norma de timp a executantului $\boldsymbol{N_{Ti}}$, este timpul necesar unei formaţii minime de muncitori pentru a realiza o unitate de măsură dintr-un proces de construcţie în condiţiile tehnologice şi organizatorice precizate prin conţinutul normei. Se exprimă în *om·ore pe unităţi de măsură* specifice procesului executat (m^3, m^2, zeci m^2, bucăţi, etc.).

Aceste norme sunt utile în proiectarea organizării execuţiei lucrărilor de construcţie şi în evaluarea cheltuielilor de manoperă şi utilizare a utilajelor în activitatea de construcţii. Normele de timp sunt astfel stabilite încât:

$$N_{Ti} = m_i \cdot d_{ui} \qquad (2.1)$$

unde m_i este numărul de muncitori din formaţia minimă; d_{ui}, durata de execuţie a unei unităţi de măsură.

Normele de timp precizate prin indicatoarele de norme de deviz pot fi folosite pentru elaborarea antemăsurătorilor şi proiectarea organizării execuţiei proceselor de construcţie dacă condiţiile de execuţie ale construcţiei pentru care se elaborează proiectul sunt apropiate de cele prevăzute în normele de deviz.

Norma de timp a utilajului N_{TUi}, este timpul de utilizare a unui utilaj pentru a realiza o unitate de măsură dintr-un proces de construcţie mecanizat în condiţiile tehnologice şi organizatorice precizate prin conţinutul normei. Se exprimă în *utilaj · ore pe unităţi de măsură* specifice.

Formaţia minimă de muncă, m_i, alcătuită dintr-un număr minim de muncitori cu o anumită calificare necesari pentru efectuarea unui proces de construcţie ***i***.

Volumul de muncă V_i, este definit ca timpul necesar pentru execuţia unui volum de lucrări ***Q*** aferent procesului ***i***.

$$V_i = Q_i \cdot N_{Ti} \qquad [om \cdot ore] \qquad (2.2)$$

În cazul proceselor mecanizate avem un volum de lucru al utilajului:

$$V_{Ui} = Q_i \cdot N_{TUi} \qquad [utilaj \cdot ore] \qquad (2.3)$$

Numărul de utilaje u_i, reprezintă utilajele necesare execuţiei unui proces de construcţie mecanizat.

2.1.2 PARAMETRI DE DESFĂŞURARE ÎN SPAȚIU

Parametrii de desfăşurare în spaţiu caracterizează amplasamentul construcţiei şi părţi ale acestuia [Hagiu V., Şerbănoiu I., 1984].

Zona de lucru, ***z***, spaţiul în care se desfăşoară execuţia unui obiect aferent unui obiect de construcţie. Se pot distinge cazuri în care:

- se dispune de la început de întreg spaţiul necesar pentru execuţia unei construcţii (cazul reţelelor de alimentare cu apă, reţele de canalizare, sisteme de irigaţii şi drenaje, canale de navigaţie etc.) – *zonă de lucru totală*;
- nu se dispune de la începutul execuţiei construcţiei de spaţiul necesar pentru execuţia unei părţi din construcţie (cazul lucrărilor executate pe înălţime cum ar fi barajele, construcţiile desfăşurate pe etaje şi nivele cum ar fi clădirile de locuit, castelele de apă, rezervoare, obiecte din staţiile de epurare etc.) – *zonă de lucru parţială*.

Numărul de nivele ***N***, ale obiectului de construcţie.

Sectorul de lucru, ***s***, suprafaţa din zona de lucru a unui obiect de construcţie unde o formaţie minimă de muncitori execută un volum de lucrări corespunzător unui proces de construcţie ***i***. Acest sector este caracterizat de suprafaţă, de volumul de lucrări aferent unui proces ce urmează a se executa pe sector q_i şi de numărul maxim de muncitori care pot efectua o activitate de construcţie pe acel sector.

Acest volum de lucrări se poate determina prin raportarea volumului de lucru total Q_i la numărul de sectoare stabilit pentru lucrarea respectivă:

$$q_i = \frac{Q_i}{n_t} \qquad (2.4)$$

Numărul total de sectoare pe obiectul de construcţie, n_t.

Numărul de sectoare, ***n***, pe un nivel în cazul în care construcția are mai multe niveluri

$$n = \frac{n_t}{N} \qquad (2.5)$$

Locul de lucru, L_i, porțiunea din sectorul de lucru, dintr-un element de construcție, atribuit unei formații minime de muncă (m_i) unde se execută un proces ***i*** aferent elementului şi unde se amplasează dispozitivele, materialele şi utilajele de construcție necesare [Hagiu V., Şerbănoiu I., 1987].

Este un parametru care caracterizează lucrările executate pe niveluri cum ar fi construcțiile de baraje, castele de apă, rezervoare pentru stocarea apei, obiecte din stațiile de epurare, blocuri, clădiri cu mai multe etaje etc.

Nivelul de lucru, ***h***, reprezintă o parte din elementul construcție unde un proces se poate executa fără schimbarea condițiilor tehnologice şi organizatorice de execuție. Este cazul lucrărilor de săpături manuale pentru rețelele de canalizare unde adâncimea de săpare ajunge poate până la 6...8 metri, lucrările de execuție a zidăriilor şi tencuielilor etc.

2.1.3 PARAMETRI DE DESFĂŞURARE ÎN TIMP

Aceşti parametri caracterizează durata de desfăşurare şi a lucrărilor de construcții.

Ritmul de lucru, t_i, este durata de execuție a unui proces pe un sector; este un parametru caracteristic lucrărilor liniare şi în funcție de desfăşurarea în timp şi spațiu se pot distinge:

- procese de construcție *ritmice* care au un ritm constant pe toate sectoarele (figura 2.1);

$$t_i^1 = t_i^2 = t_i^3 = ... = t_i^n \quad (2.6)$$

- procese de construcție *neritmice* care au un ritm diferit de la un sector la altul

$$t_i^1 \neq t_i^2 \neq t_i^3 \neq ... \neq t_i^n \quad (2.7)$$

Durata de execuție a unui proces ***i*** pe toate sectoarele, $\boldsymbol{T_i}$.

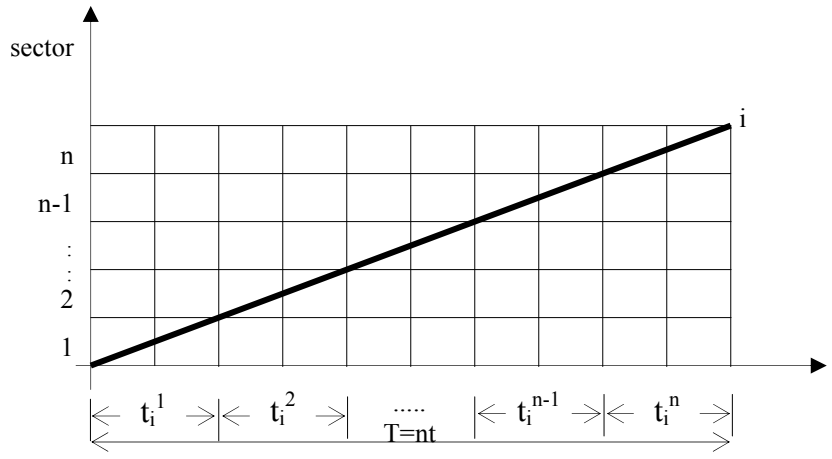


Figura 2.1 Ritmul de lucru al proceselor de construcție liniare ritmice

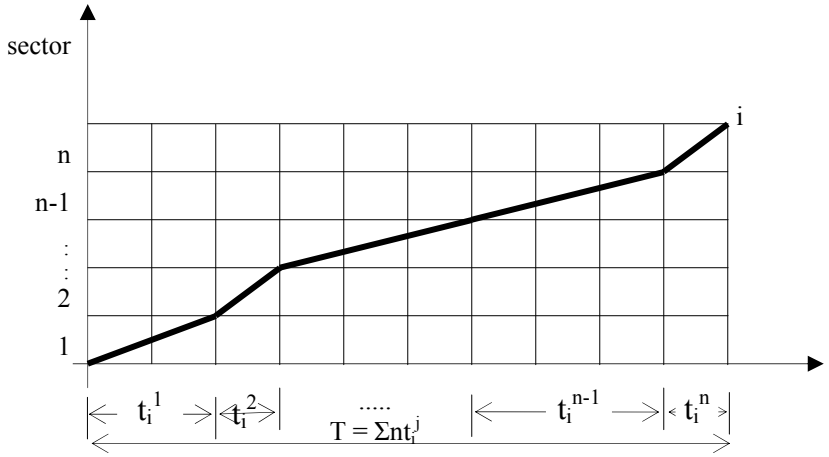


Figura 2.2 Ritmul de lucru al proceselor de construcție liniare neritmice

Pasul lanțului $p^j_{i,i+1}$ adică intervalul de timp între începerea a două procese succesive, ***i*** şi ***i+1*** pe acelaşi sector ***j***. Pasul lanțului poate fi:

- egal cu ritmul de lucru, $p^j_{i,i+1} = t_i$
- mai mare decât ritmul de lucru $p^j_{i,i+1} > t_i$
- mai mic decât ritmul de lucru $p^j_{i,i+1} < t_i$

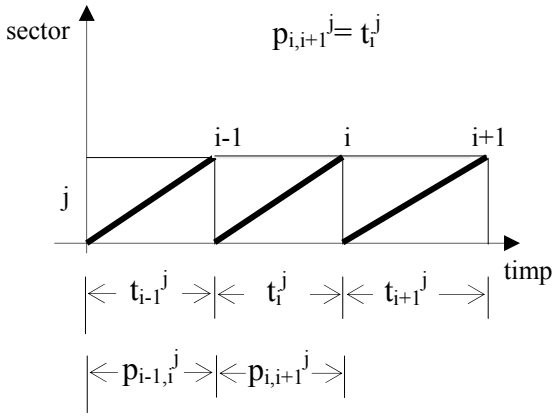


Figura 2.3 Pasul lanțului egal cu ritmul de lucru

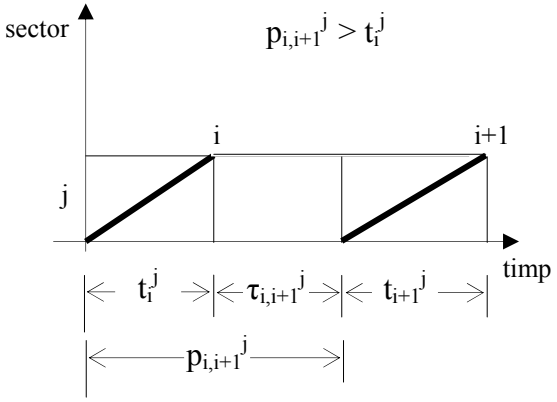


Figura 2.4 Pasul lanțului mai mare decât ritmul de lucru

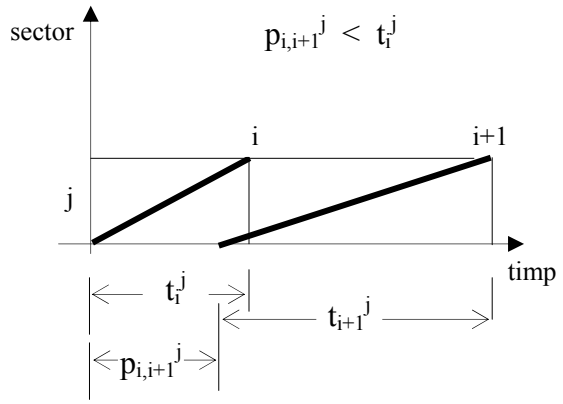


Figura 2.5 Pasul lanțului mai mic decât ritmul de lucru

Timpul de aşteptare, $\tau^{j}_{i,i+1}$ între terminarea procesului ***i*** şi începutul procesului ***i+1*** pe sectorul ***j*** (figura 2.4). Acest parametru poate fi impus de considerente tehnologicei (*de exemplu, timpul necesar atingerii de către beton a rezistenței la compresiune etc*.) sau organizatorice (*de exemplu, timpul necesar aprovizionării cu anumite sorturi de materiale sau închirierii unor utilaje de construcții etc.*)

Modulul de ritmicitate k_i, este intervalul de timp între începerea/terminarea aceluiaşi proces de construcție pe două sectoare succesive. Acest lucru presupune posibilitatea existenței în acelaşi timp pe şantierul de construcții a mai multor formații de muncitori (figura 2.6).

$$k_i = \frac{t_i}{M_i} \qquad (2.8)$$

Durata totală de execuție, ***D***, a unui obiect de construcție reprezintă intervalul de timp, exprimat în luni, necesar execuției unui obiect de construcție în anumite condiții tehnologice şi organizatorice.

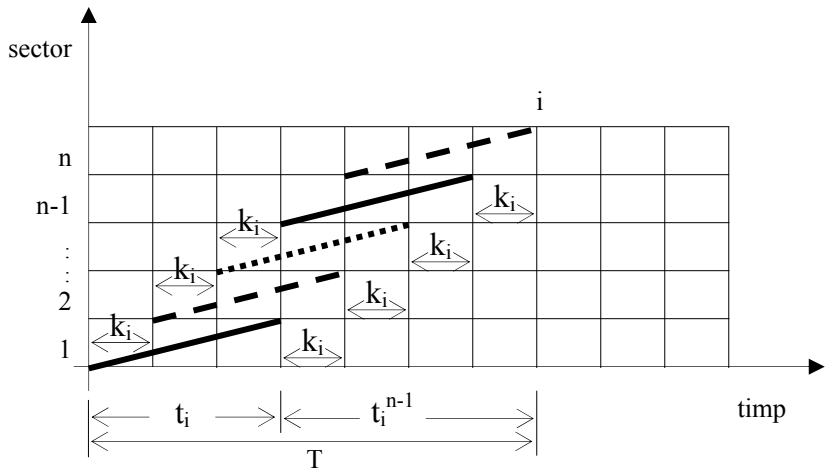


Figura 2.6 Introducerea modulului de ritmicitate
pentru eliminarea timpului de aşteptare

Durata de d_{ui}, durata de execuție a unei unități de măsură dintr-un proces de construcție.

Durata schimbului de lucru, d_s, este durata adoptată de antrepriza de construcții pentru desfăşurarea activităților de construcție.

Numărul de schimburi, γ, stabilite pe durata unei zile de lucru.

Indicele de realizare a unei norme I_i, pentru un proces de construcție i.

Coeficientul de utilizare a utilajelor, k_{FU} exprimat ca procent din timpul total al unei zile de lucru în care este folosit utilajul pentru efectuarea unui proces de construcție. Se poate exprima prin următoarea formulă:

$$k_{FU} = \frac{100 - (t_{onu} + t_{tou})}{100} \qquad (2.9)$$

unde, t_{onu}, este timpul întreruperilor reglementate în funcționarea utilajelor de construcții determinat de odihna şi necesităților fiziologice ale mecanicului de utilaj; t_{tou}, este timpul întreruperilor reglementate în funcționarea utilajelor de construcții determinat de tehnologia şi organizarea procesului de construcție.

2.2 RELAȚIA DE BAZĂ ÎNTRE PARAMETRII ORGANIZĂRII EXECUȚIEI PROCESELOR DE CONSTRUCȚIE

Între parametrii organizatorici, de desfăşurare în spațiu şi de desfăşurare în timp se pune în evidență relația directă sau indirectă a organizării execuției proceselor de construcție:

$$Q_i = \frac{1}{N_{Ti}} \cdot M_i \cdot t_i \cdot I_i \qquad (2.10)$$

unde Q_i, volumul de lcuru aferent procesului de construcție i; N_{Ti}, norma de timp aferentă procesului de construcție i; M_i, numărul de muncitori adoptat pentru execuția procesului de construcție i; t_i, durata stabilită pentru realizarea procesului de construcție i; I_i, indicele de realizare a normei pentru execuția procesului de construcție i.

Plecând de la relația (2.10) în organizarea execuției proceselor de construcție se pun următoarele probleme:

a. se dă un volum de lucrări Q_i şi se impune sau este impus timpul t_i necesar realizării procesului de construcție; în această situație trebuie stabilit numărul de muncitori necesari execuției cantității Q_i în timpul t_i:

$$M_i = \frac{Q_i \cdot N_{Ti}}{t_i \cdot I_i} \qquad [muncitori] \qquad (2.11)$$

b. Se dă cantitatea Q_i şi se impune sau este impus numărul de muncitori pentru procesului de construcție ***i;*** în acest caz se determină durata de execuție:

$$t_i = \frac{Q_i \cdot N_{Ti}}{M_i \cdot I_i} \qquad [ore] \qquad (2.12)$$

Aceste două situații de abordare a relației dintre parametrii organizatorici, de desfăşurare în spațiu şi de desfăşurare în timp descrisă de ecuația (2.12) reprezintă din punct de vedere matematic o ecuație cu un grad de nedeterminare. Soluția acestei nedeterminări se poate rezolva în organizarea execuției lucrărilor de construcții dând valori uneia dintre necunoscute şi calculând-o pe cealaltă.

În construcții această situație de nedeterminare se poate suprapune peste condițiile organizatorice şi tehnologice care pot să apară în legătură cu: numărul de muncitori disponibili la un moment dat, suprafața limitată a zonei de lucru, evitarea unor condiții meteorologice nefavorabile, durata totală de execuție impusă, etc.

Dacă lucrările de construcții se execută în schimburi de lucru (*de ex. situație existentă în cazul lucrărilor de excavație la galeriile hidrotehnice*) atunci numărului de muncitori, respectiv durata de execuție se calculează cu formulele următoare:

$$M_i = \frac{\boldsymbol{Q_i \cdot N_{Ti}}}{\boldsymbol{d_s \cdot t_i \cdot I_i}} \qquad (2.13)$$

$$t_i = \frac{\boldsymbol{Q_i \cdot N_{Ti}}}{\boldsymbol{d_s \cdot M_i \cdot I_i}} \qquad (2.14)$$

unde $\boldsymbol{d_s}$ este durata schimbului de lucru exprimată în ore.

Dacă se lucrează în mai multe schimburi pe durata unei zile de lucru atunci putem scrie că:

$$M_i = \frac{\boldsymbol{Q_i \cdot N_{Ti}}}{\boldsymbol{d_s \cdot t_i \cdot I_i}} \cdot \boldsymbol{\gamma} \qquad (2.15)$$

$$t_i = \frac{Q_i \cdot N_{Ti}}{d_s \cdot M_i \cdot I_i \cdot \gamma} \qquad (2.16)$$

În primă fază indicele de realizare a normei se consideră 1,0. În cazul calculării numărului de muncitori acesta se rotunjeşte la valori superioare întregi dar şi ținând cont de condițiile de a fi multiplu întreg de muncitori ai formației minime. Astfel, indicele de îndeplinire a normei poate fi recalculat în funcție de aceste rotunjiri.

La procesele mecanizate, durata de execuție şi numărul utilajelor necesare pentru execuția unui volum de lucrări Q_i se poate exprima cu relațiile:

$$t_i = \frac{Q_i \cdot N_{TUi}}{d_s \cdot u_i \cdot K_{FU}} \qquad (2.17)$$

$$u_i = \frac{Q_i \cdot N_{TUi}}{d_s \cdot t_i \cdot K_{FU}} \qquad (2.18)$$

Numărul de muncitori care participă la execuția proceselor mecanizate, vor fi cei prevăzuți în norme sau ca formație pentru deservirea utilajului [Mihăilescu Şt., ş.a. 1986].

2.3 METODE DE ORGANIZARE A EXECUȚIEI LUCRĂRILOR DE CONSTRUCȚII

Prin metodă de organizare a execuției proceselor de construcție se defineşte o anumită modalitate de dispunere şi desfăşurare în timp şi spațiu a proceselor legate de realizarea unui obiect de construcție sau a unei părți a acestuia: ansamblu, subansamblu, element.

Există trei metode de organizare a execuției proceselor de construcție:

- *metoda succesivă*;
- *metoda în paralel*;
- *metoda în lanț*.

Realizarea unui obiect de construcție nu este rezultatul aplicării numai a uneia din aceste metode. Datorită complexității unui obiect de construcție, pentru realizarea diferitelor ansamble, subansamble şi elemente, proiectantul în organizare poate aplica toate cele trei metode în funcție de condiționările tehnologice şi organizatorice etc.

2.3.1 METODA SUCCESIVĂ

Metoda succesivă propune o astfel de dispunere şi desfăşurare în timp şi spațiu încât la un moment dat pe şantierul de construcții se execută un singur proces pe un sector. Această metodă se poate realiza în două variante.

a) Într-o primă variantă se urmăreşte ca prin asigurarea succesiunii proceselor pe un sector, acesta să fie terminat într-un timp cât mai scurt (figura 2.7). După cum se constată din ciclogramă, în acelaşi timp nu se execută decât un proces pe un sector. Execuția lucrărilor pe sectoare se realizează în duratele $\boldsymbol{D_1}$, $\boldsymbol{D_2}$,...,$\boldsymbol{D_n}$ şi în cazul când delimitarea sectoarelor determină volume de muncă egale, atunci $\boldsymbol{D_1 = D_2 = D_3 = ... = D_n}$.

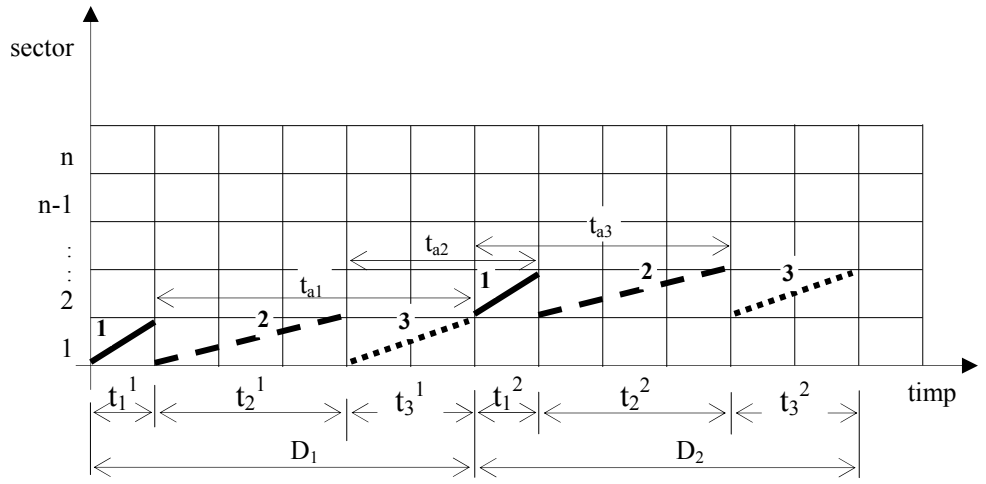


Figura 2.7 Metoda succesivă în varianta realizării succesiunii proceselor de construcție pe un sector

Aplicarea acestei variante a metodei succesive are următoarele avantaje:

- prezența unui număr redus de muncitori pe şantier, ceea ce determină reducerea la minimum a construcțiilor de organizare de şantier cu caracter social (locuințe, vestiare, săli de mese etc.);
- intensitatea consumului de resurse (asimilat cu consumul zilnic) este redusă, ceea ce determină reducerea la minimum a mijloacelor de transport şi a construcțiilor pentru depozitarea materialelor;
- este uşor de condus şi urmărit.

Aplicarea acestei variante are şi următoarele dezavantaje:

- durata totală de execuție ***D*** este foarte mare;
- nu se asigură continuitatea în lucru a formațiilor de muncitori. Întreruperile mari în activitatea fiecărei formații t_{ai}, între terminarea unui proces pe un sector şi începutul procesului pe sectorul următor şi implicit staționarea utilajelor cu care sunt dotate respectivele formații, duce la cheltuieli neproductive. Acest dezavantaj face metoda practic inaplicabilă.

Totuşi aplicarea acestei metode este condiționată de următoarele măsuri corective:

- combinarea executării mai multor obiecte, astfel încât în intervalul de timp t_{ai} formațiile să fie deplasate la aceste obiecte pentru a li se asigura front de lucru. Soluția nu este aplicabilă la activități de construcție la a căror execuție participă utilaje ce nu pot fi deplasate;
- execuția tuturor proceselor (***1***, ***2***, ..., ***m***) cu o singură formație care să cuprindă muncitori cu aptitudini şi pregătire complexă. Soluția este aplicabilă pentru acele procese între care există compatibilitatea tehnică şi tehnologică.

b) O a doua variantă de organizare a execuției proceselor prin metoda succesivă este determinată de ideea asigurării continuității în lucru a unei formații care execută un proces pe toate sectoarele, după terminarea căruia începe executarea celui de al doilea proces ş.a.m.d.

După cum se constată din ciclogramă şi în acest caz, la un moment dat, se execută un singur proces.

Aplicarea acestei variante are aceleaşi avantaje ca şi varianta precedentă. În plus ea asigură continuitatea în lucru formațiilor de muncitori în trecerea lor de la un sector la altul.

De asemenea, această variantă are acelaşi dezavantaj al unei durate totale mari. În afară de acesta, un alt dezavantaj, specific numai acestei variante, este faptul că apar perioade de întrerupere între terminarea unui proces pe un sector şi începutul procesului următor pe acelaşi sector $\tau^{j}_{i,i+1}$. Există procese succesive între care este inadmisibilă prezența unor întreruperi; *de exemplu, săpăturile la fundația unei clădiri nu trebuie să fie lăsate un interval cât de mic, fără a executa betonarea, deoarece infiltrațiile de apă sau precipitațiile determină deteriorarea săpăturii* [Suman R., ş.a. 1988].

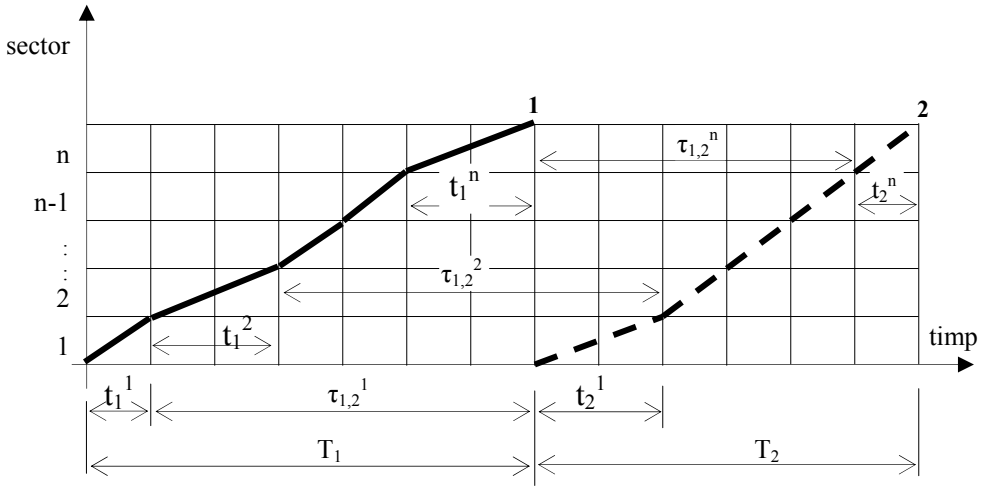


Figura 2.8 Metoda succesivă în varianta realizării continuității în lucru a unei formații care execută un proces de construcție pe toate sectoarele

Organizarea execuției proceselor prin metoda succesivă rămâne de reținut ca posibilitate de folosire, mai ales în cazul lucrărilor izolate, unde se întâmpină dificultăți cu recrutarea forței de muncă, aprovizionarea cu materiale şi termenul de punere în funcțiune permite o durată mare de execuție.

Adoptarea uneia dintre cele două variante se va face în funcție de condițiile concrete de execuție care impun restricții la desfăşurarea în timp şi în spațiu a proceselor.

2.3.2 METODA ÎN PARALEL

Caracteristic pentru această metodă este faptul că se prevede o asemenea dispunere şi desfăşurare în timp şi spațiu încât un număr de formații egal cu numărul sectoarelor execută în acelaşi timp procesele pe aceste sectoare (figura 2.9). La limită, putem vorbi de metoda în paralel dacă se dispune cel puțin de două formații care să execute acelaşi proces, în acelaşi timp, pe sectoare diferite.

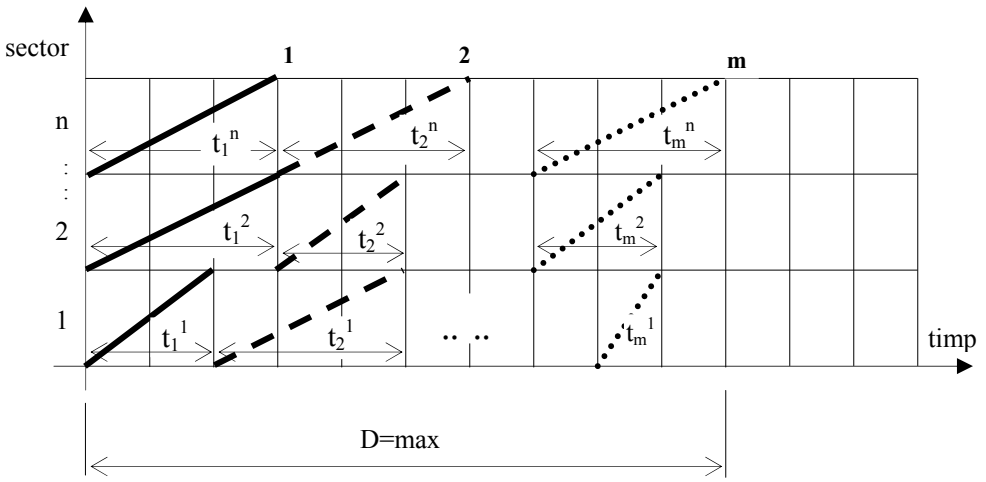


Figura 2.9 Metoda în paralel

După cum se vede din ciclogramă, pe şantier sunt prezenți un număr considerabil de muncitori. Prezența acestor formații de muncitori presupune asigurarea aprovizionării cu materiale şi utilaje, în cantități corespunzătoare, care să permită desfăşurarea activității acestor formații. Avantajul esențial al acestei metode de organizare este reducerea la maximum a duratei de execuție. Acest avantaj este în schimb limitat considerabil de următoarele dezavantaje:

- necesită existența unei zone de lucru totală; execuția lucrărilor cu formațiile respective concomitent pe toate sectoarele este condiționată de aceasta;
- necesită un număr foarte mare de muncitori, cât şi cantități mari de materiale şi dotări corespunzătoare cu utilaje de construcții; atât muncitorii cât şi cantitățile de materiale şi utilaje nu pot fi asigurate totdeauna;
- cheltuieli considerabile pentru construcții provizorii, social, administrative, depozite, magazii etc.;
- coordonarea lucrărilor este dificilă [Şerbănoiu I., ş.a., 2003].

2.3.3 METODA ÎN LANȚ

Dacă analizăm metoda succesivă şi metoda în paralel, se constată că ele se situează pe poziții diametral opuse, ca mod de concepție a dispunerii şi desfăşurării în timp şi în spațiu. Metoda în lanț, încearcă să combine avantajele şi să elimine pe cât posibil dezavantajele metodei succesive şi ale metodei în paralel.

Metoda în lanț constă în conceperea unei dispuneri şi desfăşurări în timp şi spațiu astfel încât formațiile de muncitori trec succesiv de pe un sector pe altul, fiecare formație executând un proces pe un sector şi creând front de lucru pentru formația care execută procesul următor.

Dificultățile aplicării metodei în lanț sunt numeroase. Se pot semnala doar următoarele aspecte: împărțirea în sectoare nu este o simplă demarcație în planşe sau pe teren, ci este impusă de condiționări tehnologice şi organizatorice foarte complexe; la rândul său, delimitarea sectoarelor determină în mod hotărâtor variații ale ritmului de lucru (datorită variației volumelor de lucrări) ceea ce face dificilă, coordonarea în timp şi spațiu a activității formațiilor de muncitori.

2.4 PRINCIPIILE DE BAZĂ PENTRU ORGANIZARE EXECUȚIEI ÎN LANȚ

Aplicarea metodei în lanț pentru organizarea execuției proceselor de construcție se bazează pe următoarele principii, exprimate în modul cel mai general:

- complexul de procese de construcție, aferente unui obiect sau mai multor obiecte de construcție, se grupează în cicluri de construcție. Un ciclu poate fi un proces complex, uneori foarte complex, în care pot fi incluse toate acele procese simple între care se stabileşte că există o legătură tehnologică sau organizatorică, ceea ce determină ca execuția să fie încredințată unei formații de muncitori;
- obiectul sau grupul de obiecte de construcție, care se introduc în organizarea în lanț, se împart în sectoare; împărțirea în sectoare determină, în mod direct, volumele de lucrări pentru fiecare ciclu aferent sectoarelor. Acestea, volumele de lucrări $\boldsymbol{Q_i}$, determină ritmul de lucru al ciclurilor în funcție de care se obține tipul lanțului;
- pentru execuția ciclurilor de construcție trebuie alocate formații de muncitori, cu utilaje şi instalațiile de lucru necesare, de componență şi structură constantă, care trec succesiv şi fără întreruperi de la un sector la altul şi execută la fiecare sector acelaşi ciclu, aplicând aceleaşi metode;
- se consideră că în acelaşi timp, pe acelaşi sector, se execută un singur proces, aceasta atât din considerente tehnologice, cât şi organizatorice, pentru a se evita supraaglomerarea cu muncitori, materiale şi utilaje;
- se consideră că ritmul de lucru calculat al fiecărui ciclu, se realizează întocmai pe toate sectoarele, ceea ce permite trasarea ciclogramei ca model al desfăşurării în timp şi spațiu a ciclurilor [Şerbănoiu I., ş.a. 2003].

2.5 TIPURI DE LANȚURI ÎN ORGANIZAREA EXECUȚIEI PROCESELOR DE CONSTRUCȚII

Complexitatea şi natura foarte diferită a ciclurilor de construcție, cât şi a operațiilor ce le compun determină posibilitatea realizării a trei tipuri de lanțuri: lanțul complex ritmic, lanțul complex ritmic cu ritmuri diferite de la un ciclu la altul şi lanțul neritmic.

Un tip de lanț particular este lanțul complex liniar; particularitatea rezultă din caracterul liniar al lucrărilor la care se aplică: drumuri, căi ferate, alimentări cu apă, canalizări, etc.

2.5.1 LANȚ COMPLEX RITMIC

Modul ideal de organizare în lanț, în acelaşi timp soluția cea mai clară de defăşurare în timp şi spațiu, este determinată de cazul când ritmul tuturor ciclurilor (denumite şi lanțuri parțiale) ce intră în componența lanțului complex sunt egale între ele, pe toate sectoarele:

$$t_1 = t_2 = \ldots = t_i = \ldots = t_n \qquad (2.19)$$

În acest caz, fiecare formație de muncitori ce execută un ciclu începe lucrul într-un sector, imediat ca formația precedentă şi-a terminat lucrul în acest sector.

În figura 2.10 se prezintă ciclograma unui asemenea lanț, precum şi elementele sale caracteristice: $\boldsymbol{t}$ – ritmul de lucru, constant pentru toate ciclurile; $\boldsymbol{t_d}$ – durata desfăşurării lanțului; $\boldsymbol{t_p}$ – durata predării sectoarelor ca producție finită; $\boldsymbol{m}$ – numărul de cicluri (sau lanțuri parțiale); **n** – numărul de sectoare.

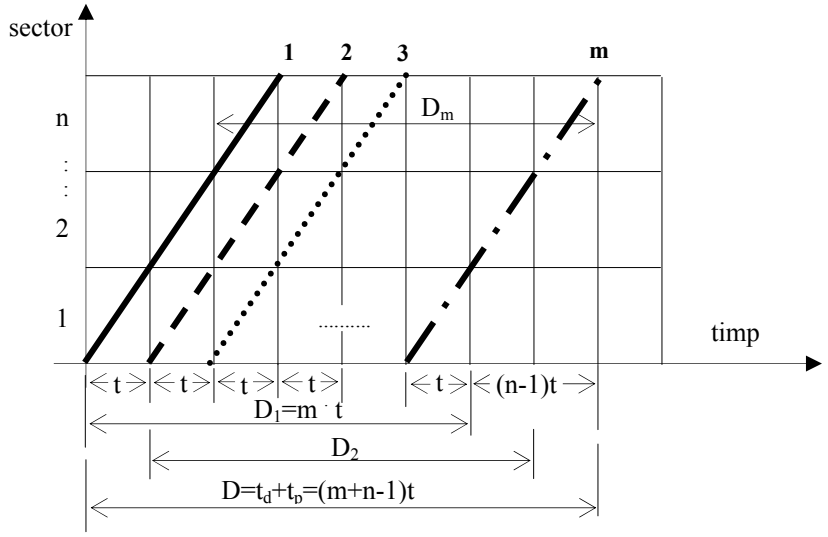


Figura 2.10 Lanțul complex ritmic

2.5.2 LANȚUL COMPLEX RITMIC, CU RITMURI DIFERITE DE LA UN CICLU LA ALTUL

Caracterul neomogen şi complexitatea foarte diferită a proceselor de construcție, determină volume de muncă diferite şi implicit ritmuri de lucru diferite de la un proces la altul.

În figura 2.11 se prezintă ciclograma de principiu a organizării execuției după metoda lanțurilor parțiale (ciclurilor) cu ritmuri diferite.

După această metodă, unele sau fiecare din lanțurile (ciclurile) parțiale, ce fac parte din lanțul general, se organizează cu ritm propriu. În acest caz, ritmul fiecărui lanț parțial rămâne constant pe toate sectoarele.

Parametrii principali ai lanțului complex sunt: ***n*** – numărul de sectoare; ***m*** – numărul de cicluri din lanțul complex; t_d – durata desfăşurării lanțului complex; t_p – durata predării sectoarelor; ***D*** – durata totală; $\tau_{ij}^{(1)}$- este timpul de aşteptare între terminarea unui ciclu şi începutul ciclului următor pe sectorul 1, determinat de diferența între ritmurile de lucru ale celor două cicluri.

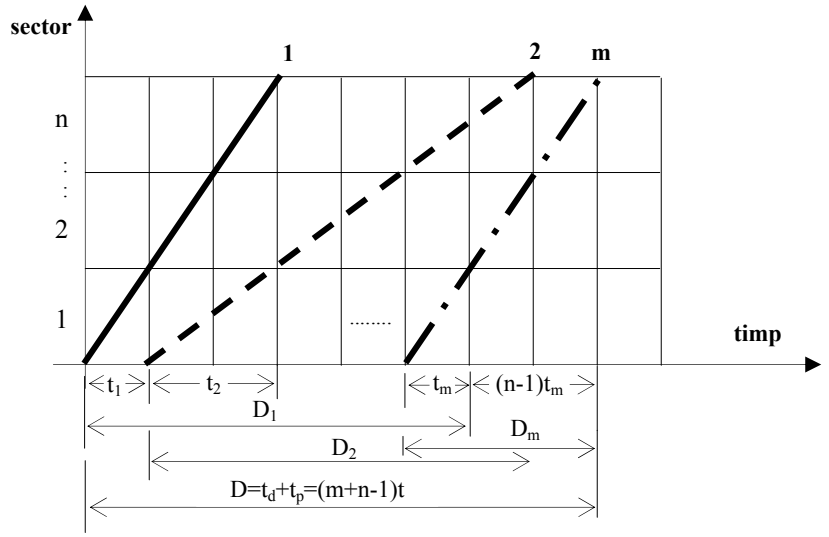


Figura 2.11 Metoda în lanț cu ritmuri diferite de la un ciclu la altul

Acest timp reprezintă o întrerupere a activității de construcție pe sector şi nu o întrerupere în activitatea formațiilor de muncitori. Introducerea lui $\tau_{ij}^{(1)}$ fixează momentul necesar de începere a ciclului ***j*** pe sectorul ***1***, care să asigure continuitatea în lucru a formației de muncitori ce execută ciclul ***j*** şi ordinea tehnologică normală pe toate sectoarele, ciclul ***j*** după ciclul ***i***.

Timpii de aşteptare τ_{ij} apar şi pe celelalte sectoare din ce în ce mai mici, până la ultimul sector unde se corelează terminarea unui proces de construcție cu începerea celui imediat următor.

Ritmurile de lucru diferite ale ciclurilor determină timpi de aşteptare ai sectoarelor între ciclurile succesive ale unui lanț complex.

Condiționările tehnologice sau organizatorice impun reducerea acestor timpi de aşteptare, din următoarele motive:

- necesitatea reducerii duratei totale de execuție a lanțului complex;

- între anumite cicluri succesive dintr-un lanț complex prezența timpilor de aşteptare ar conduce la deteriorarea lucrărilor executate anterior (situație specifică între ciclul de săpături şi ciclul de turnare a betoanelor în fundații);
- în cazul ciclurilor cu ritmuri de lucru diferite pentru construcții cu mai multe niveluri, reducerea timpilor de aşteptare este absolut necesară pentru a asigura continuitatea în lucru formațiilor de muncitori când trec de la un nivel la altul.

Reducerea timpilor de aşteptare într-un lanț complex cu ritmuri de lucru diferite de la un lanț pațial (ciclu) la altul se face în două modalități: introducerea lucrului în mai multe schimburi şi modularea lanțului (ciclului).

2.6 REDUCEREA TIMPILOR DE AŞTEPTARE ÎNTRE CICLURI CU RITMURI DE LUCRU DIFERITE PRIN INTRODUCEREA LUCRULUI ÎN MAI MULTE SCHIMBURI

Această posibilitatea de reducere a timpilor de aşteptare este posibilă în cazul particular, când între ritmurile de lucru ale ciclurilor t_1, t_2,...,t_m există un raport de proporționalitate 1:2, 1:3 sau 2:3.

Reducerea timpilor de aşteptare între lanțurile parțiale se poate face introducând lucrul în mai multe schimburi pentru procesele cu ritmuri de lucru mai mari, 3 schimburi pentru procesul 1 şi 2 schimburi pentru procesul 3 şi menținând un singur schimb pe zi pentru procesul 2, bineînțeles în cazul schimburilor de lucru de 8 ore [Hagiu V., Şerbănoiu I., 1987].

2.7 REDUCEREA TIMPILOR DE AŞTEPTARE ÎNTRE CICLURI CU RITMURI DE LUCRU DIFERITE PRIN MODULARE

Reducerea timpilor de aşteptare şi a duratei totale de execuție a proceselor complexe ritmice alcătuite din cicluri cu ritmuri diferite, se poate obține şi prin modulare.

Aceasta se poate realiza prin folosirea unui număr mai mare de formații de lucru care să înceapă lucrul pe sectoarele învecinate cu un anumit decalaj de timp între ele, denumit *modul de ritmicitate* şi care se păstrează şi la predarea sectoarelor; lanțurile elementare, executate de către o formație, care trece succesiv pe toate sectoarele, se transformă în lanțuri divizate, executate de mai multe formații ce lucrează numai pe anumite sectoare (figura 2.12).

Durata de execuție a unui proces pe un sector (ritmul de lucru) se păstrează; ceea ce se modifică este doar ritmul de predare a sectoarelor, egal cu modulul de ritmicitate ***k.*** Durata de execuție a unui proces pe toate sectoarele se scrie:

$$T_1 = t_1 + (n-1)\cdot K \qquad (2.20)$$

unde ***K*** este modul de ritmicitate.

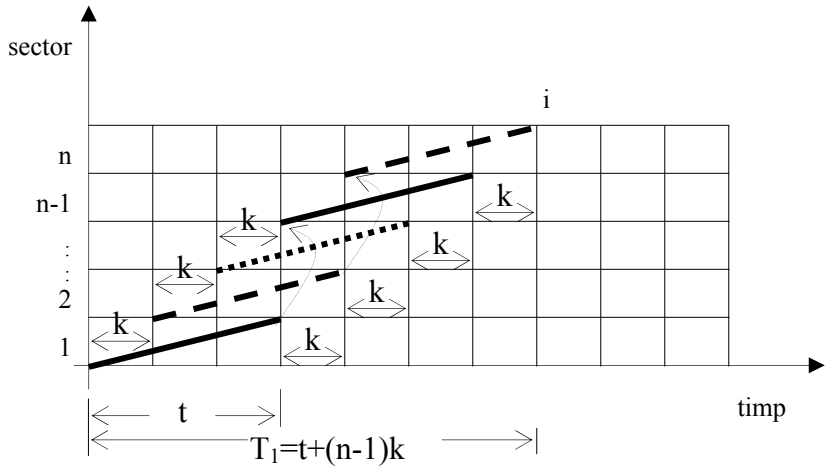


Figura 2.12 Reducerea timpilor de aşteptare prin modulare

Această operație de modificare a unui ciclu de construcție se numește modulare. Relația dintre parametrii ***t*** (ritmul de lucru), ***M*** (numărul de formații de lucru) și ***K*** (modul de ritmicitate), pentru a se reduce timpii de așteptare între toate ciclurile (lanțurile parțiale) unui lanț complex și pe toate sectoarele se poate scrie:

$$\frac{t_1}{M_1} = \frac{t_2}{M_2} = \ldots = \frac{t_m}{M_m} = K \qquad (2.\ 21)$$

Pentru a elimina timpii de așteptare dintre toate ciclurile pe orice sector, este necesar să se aleagă numărul de formații, astfel încât K să fie cel mai mare divizor comun pentru toate ritmurile de lucru asigurându-se astfel reducerea la minimum a numărului de formații pentru fiecare ciclu:

$$M_i = \frac{t_i}{K} \qquad (2.22)$$

2.8. LANȚ COMPLEX NERITMIC

Lanțul complex neritmic corespunde situației când ciclurile au ritmuri de lucru diferite de la un sector la altul, cât și între ele.

Problema la un lanț complex neritmic este coordonarea în timp și spațiu între cicluri succesive, astfel încât să se asigure continuitatea în lucru a formațiilor de muncitori cu respectarea ordinii tehnologice stabilite de execuție pe toate sectoarele. Problema este foarte dificilă cu cât numărul sectoarelor și al ciclurile este mai mare.

2.9 PRINCIPII ŞI MODALITĂȚI DE STABILIRE A PARAMETRILOR ORGANIZĂRII LUCRĂRILOR LINIARE

2.9.1 STABILIREA NUMĂRULUI ŞI CONȚINUTULUI CICLURILOR

Stabilirea numărului ciclurilor de lucrări şi a conținutului acestora (procesele componente) depinde de soluția constructivă, de tehnologia adoptată şi de condițiile specifice de organizare a execuției.

Aceasta se face pe baza antemăsurătorii din proiectul de execuție şi a pieselor desenate aferente; ciclurile necesare organizării execuției lucrărilor de fundații nu trebuie confundate cu articolele din antemăsurătoare.

2.9.2 DETERMINAREA NUMĂRULUI DE SECTOARE LA LUCRĂRI LINIARE

La construcțiile care se desfăşoară în lungime, lucrări des întâlnite în domeniul hidrotehnic cum sunt rețelele de canalizare, rețelele de alimentare cu apă, canale de aducțiune, navigație, etc. nu se pot determina sectoare precise de lucru.

Pentru acest gen de lucrări se stabileşte în primul rând ciclul principal, pentru care se consideră ca sector, porțiunea din construcție care se execută într-un schimb de lucru [Hagiu V., Şerbănoiu I., 1982].

Dacă se notează cu V_i viteza de lucru a formației de muncitori care execută ciclul principal i, dotată cu utilajul necesar, atunci mărimea unui sector va fi:

$$l_i = V_i \cdot t_i = t_i \cdot 1\ schimb \qquad (2.23)$$

Viteza de înaintare a formației de muncitori „i” se poate determina cu relația:

$$v_i = \frac{N_{PFSi}}{q_{ui}} \quad [ml/schimb] \qquad (2.24)$$

unde N_{PFSi}, productivitatea pe schimb a formației de muncitori; q_{ui}, volumul de lucrări al ciclului i pe unitatea de lungime a sectorului.

Cunoscând lungimea totală L a lucrării liniare, numărul de sectoare (n) se determină cu relația:

$$n_i = \frac{L}{l_i} = \frac{L}{v_i} = \frac{L \cdot q_{ui}}{N_{PFSi}} \qquad (2.25)$$

2.9.3 DETERMINAREA RITMULUI DE LUCRU ŞI A NUMĂRULUI DE MUNCITORI

Între ritmul de lucru şi formația de muncitori există o strânsă legătură. Determinarea acestor doi parametri se face pe baza analizei condițiilor tehnologice şi organizatorice de execuție a proceselor, ceea ce va determina restricții asupra lui t sau asupra lui M.

2.9.3.1 CALCULUL PARAMETRILOR TIMP (t) ŞI RESURSĂ UMANĂ (M) PENTRU PROCESE COMPLEXE DE SĂPĂTURĂ MANUALĂ

O activitate specifică în construcții şi cu preponderență în construcțiile hidrotehnice o reprezintă procesul complex de săpătură manuală. Complexitatea acestui proces decurge din faptul că include o serie de procese simple (*săpătura propriu-zisă, sprijinirea malurilor, evacuarea apei provenită din infiltrații sau din precipitații, transportul pământului cu roaba*) diferite ca natură, resursă umană necesară, dificultate şi durată de execuție [Hagiu V., Şerbănoiu I., 1987].

Scopul principal la execuția săpăturilor manuale este obținerea unei durate cât mai mici (pentru a preîntâmpina efectele negative ale apei din infiltrații sau precipitații). Aceasta depinde de modul de stabilire a parametrilor timp (***t)*** şi resursă umană (***M)*** ai procesului complex.

În acest sens, trebuie parcurse următoarele etape:

- se stabilesc procesele simple din cadrul procesului complex: pentru simplificarea expunerii se consideră două procese simple: săpătură manuală ***i***, sprijinirea malurilor ***j***;
- din normele corespunzătoare se obțin normele de timp şi formațiile minime, aferente fiecărui proces simplu: N_{Ti}, m_i (pentru săpătură), N_{Tj}, m_j (pentru sprijiniri);
- se determină cantitățile de lucrări q_{ui}, q_{uj} aferente fiecărui proces simplu, pentru o unitate de produs, care poate fi *1 ml*, pentru fundații continue sau *1 bucată* pentru fundații izolate;
- se determină normele de timp pentru execuția unității de produs: *1 ml* pentru fundațiile continue sau pentru *1 bucată* fundație izolată:

$$N^u_{T_i} = N_{T_i} \cdot q_{ui}; \quad N^u_{T_j} = N_{T_j} \cdot q_{uj} \ \ [om\ ore/ml; \quad om\ ore/buc] \qquad (2.26)$$

- se determină durata de realizare a celor două procese simple pentru unitatea de produs (1 ml lungime sau pentru o singură groapă de fundație):

$$d_{ui} = \frac{N^u_{T_i}}{m_i}; \quad d_{uj} = \frac{N^u_{T_j}}{m_j} \qquad [ore/ml;\ ore/buc] \qquad (2.27)$$

- se compară duratele de execuție a unității de proces, d_{ui} cu d_{uj}.

a) Dacă $d_{ui} > d_{uj}$, apare un timp de aşteptare pentru formația m_j eliminarea acestui timp de aşteptare se face prin reducerea duratei d_{ui} la nivelul

duratei d_{uj} sporind numărul de muncitori din formația minimă m_i, astfel (figura 2.13):

$$m_i \rightarrow m_{ic}^{*} = \frac{d_{ui}}{d_{uj}} \cdot m_i , \qquad (2.28)$$

unde m_{ic}^{*} devine formația minimă calculată, necesară pentru a executa procesul ***i*** pe unitatea de produs în intervalul d_{uj}.

b) Dacă $d_{uj} > d_{ui}$, apare un timp de aşteptare pentru formația minimă m_i, similar ca cel din figura 2.13. În acest caz, reducerea timpului de aşteptare se face prin sporirea numărului de muncitori din formația minimă m_j:

$$m_j \rightarrow m_{jc}^{*} = \frac{d_{uj}}{d_{ui}} \cdot m_j , \qquad (2.29)$$

unde m_{jc}^{*} devine formația minimă calculată, necesară pentru a executa procesul ***j*** pe unitatea de produs în intervalul d_{ui}.

Se va adopta $m_{i_{ef}}^{*}$ şi $m_{j_{ef}}^{*}$ prin rotunjire în plus, până la numărul întreg imediat superior.

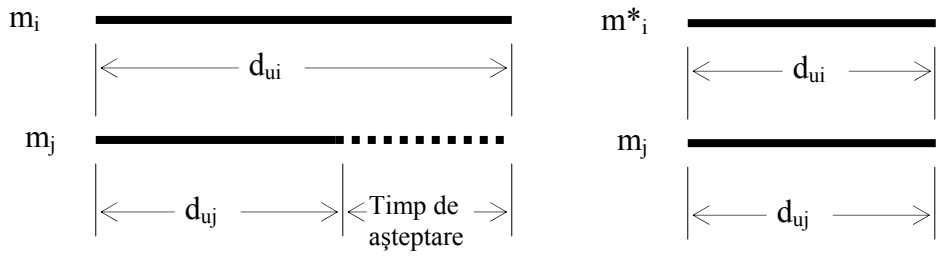


Figura 2.13. Eliminarea timpilor de aşteptare prin modificarea componenței formației de lucru

- se calculează formația minimă $\boldsymbol{m_s}$ necesară pentru execuția procesului complex de săpătură manuală (săpătură plus sprijinire) pe unitatea de produs.

- dacă $d_{ui} > d_{uj} \rightarrow m_s = m_i^* + m_j$

- dacă $d_{uj} > d_{ui} \rightarrow m_s = m_j^* + m_i$

- se calculează parametrii ***t*** sau ***M*** pentru execuția întregului proces complex de săpătură manuală:

a) dacă se impune ***M*** (de exemplu din condiția de număr de muncitori disponibili) atunci se va adopta: $\boldsymbol{M_{ad}=g \cdot m_s \leq M}$ şi se determină durata:

$$t_c = \frac{Q_i \cdot N_{T_i} + Q_j \cdot N_{T_j}}{\gamma \cdot d_s \cdot M_{ad} \cdot I} \qquad (zile) \qquad (2.30)$$

b) dacă se impune ***t***, atunci se determină numărul de muncitori:

$$M_c = \frac{Q_j \cdot N_{T_j} + Q_i \cdot N_{T_i}}{\gamma \cdot d_s \cdot t \cdot I} \qquad (zile) \qquad (2.31)$$

şi se adoptă formația de lucru efectivă

$$M_{ef} = g \cdot M_c \qquad (2.32)$$

3. PROGRAMAREA EXECUȚIEI LUCRĂRILOR DE CONSTRUCȚII

Prin *durată totală de execuție* a unui proiect de construcție înțelegem intervalul de timp în care se efectuează toate activitățile acestuia, respectând toate interdependențele dintre activități.

A programa execuția unei lucrări de construcție înseamnă a stabili termenele de începere pentru fiecare activitate în parte, ținând seama de restricțiile impuse de procesul tehnologic, duratele activităților şi resursele disponibile. Pentru un proiect dat, există un număr mare de programări admisibile. Un interes deosebit o prezintă stabilirea programului optim, adică acel program care, pe de o parte, satisface restricțiile impuse iar, pe de altă parte, optimizează un anumit criteriu de eficiență economică.

Criteriul de optimizare nu este acelaşi pentru toate proiectele, el este stabilit pentru fiecare caz în parte şi defineşte obiectivele majore ale managementului proiectului. În funcție de aceste obiective, criteriul poate fi durata totală minimă de execuție, costul total minim, folosirea cât mai uniformă a resurselor sau o combinație a acestora.

Deci, programul optim este acea desfăşurare a proiectului, precizată prin termenele de începere ale activităților, care conduce la o eficiență maximă.

Deoarece, situațiile din practică care necesită rezolvarea unei probleme de stabilire a unor termene sunt foarte variate, s-au propus numeroase modele pentru rezolvarea lor. În continuare vor fi prezentate câteva dintre metodele cele mai frecvent utilizate.

3.1 MODELE DE ANALIZĂ A DRUMULUI CRITIC (ADC)

Principiul metodei analizei drumului critic constă în divizarea unui proiect de construcție (acțiuni complexe) în părți componente (acțiuni simple), la un nivel care să permită corelarea tehnologică a acestora, adică să facă posibilă stabilirea legăturii dintre activitățile componente.

Metoda drumului critic foloseşte un mod de reprezentare a desfăşurării execuției proiectelor de construcții sub formă de rețele plane, numite grafuri sau grafice rețea.

3.1.1 ELEMENTE DE TEORIA GRAFURILOR

3.1.1.1 DEFINIȚIA UNUI GRAF

Un *graf* se poate defini ca o pereche $G = (V(G), E(G))$, unde $V(G)$ este o mulțime finită nevidă, iar $E(G)$ este o submulțime a mulțimii $P2(V(G))$ formată din părților cu două elemente ale lui $V(G)$ [Boldur-Lățescu G., ş.a. 1979].

$V(G)$ se numeşte *mulțimea vârfurilor* grafului G şi numărul său de elemente, $|V(G)|$, este *ordinul grafului* G; $E(G)$ este *mulțimea muchiilor* grafului G şi numărul său de elemente, $|E(G)|$, este *dimensiunea* grafului G. Atunci când nu există posibilitatea confuziilor, se poate folosi notația, $G = (V, E)$.

Dacă $e = \{u, v\} \in E(G)$ este o muchie a grafului G vom nota $e = uv$ (pentru simplificarea scrierii) şi se poate spune că: muchia e uneşte vârfurile u şi v; vârfurile u şi v sunt *adiacente* în G; muchia e este *incidentă* cu vârfurile u şi v; vârfurile u şi v sunt *vecine* în G; vârfurile u şi v sunt *extremitățile* muchiei e.

vârfuri şi nu admite mulţimi separatoare de vârfuri de cardinal mai mic decât p. Evident, G este **1** – conex dacă şi numai dacă este conex. Un graf **2** – conex se numeşte *bloc*.

Dacă G este un graf conex, o muchie $e \in E(G)$ cu proprietatea că $G - e$ este neconex se numeşte *punte* în graful G; mai general, o mulţime A de muchii ale unui graf G se numeşte *mulţime separatoare de muchii* dacă $G - A$ este neconex. Un graf G cu măcar p vârfuri este p – *muchie – conex* dacă nu admite mulţimi separatoare de muchii de cardinal mai mic decât p.

Numărul de conexiune al lui G, notat $k(G)$, (respectiv, *numărul de muchie – conexiune*, $\lambda(G)$) este cel mai mare număr natural p pentru care G este p – conex (p – muchie – conex).

Un graf (sau digraf) se numeşte *eulerian* dacă admite un parcurs închis care foloseşte fiecare muchie a grafului (respectiv, fiecare arc al digrafului).

Un (di)graf G se numeşte *hamiltonian* dacă are un circuit care trece prin fiecare vârf [Boldur-Lăţescu G., ş.a. 1979].

3.2 NATURA ŞI REPREZENTAREA ACTIVITĂŢILOR ÎN METODA DRUMULUI CRITIC

Există mai multe moduri de a reprezenta un proiect printr-un graf, cele mai cunoscute fiind prezentate în continuare.

3.2.1 METODA CPM (CRITICAL PATH METHOD)

Metoda *Critical Path Method* este un procedeu de analiză a drumului critic în care singurul parametru analizat este *timpul* şi în reprezentarea graficului reţea se ţine seama de următoarele convenţii:

– fiecărei activităţi i se asociază un segment orientat numit arc, definit prin capetele sale, fiecare activitate identificându-se printr-un arc;

– fiecărui arc i se asociază o valoare egală cu durata activității pe care o reprezintă;

– condiționarea a două activități se reprezintă prin succesiunea a două arce adiacente.

Nodurile grafului vor reprezenta momentele caracteristice ale proiectului, reprezentând stadii de realizare a activităților (adică terminarea uneia sau mai multor activități şi/sau începerea uneia sau mai multor activități).

Procedeul *CPM* se bazează pe existența unei corespondențe între elementele unui proiect (activități, evenimente) şi elementele unui graf (arce şi noduri). Se obține o relație care pune în evidență particularitățile de o mare însemnătate practică, în special, proprietățile de succesiune temporală.

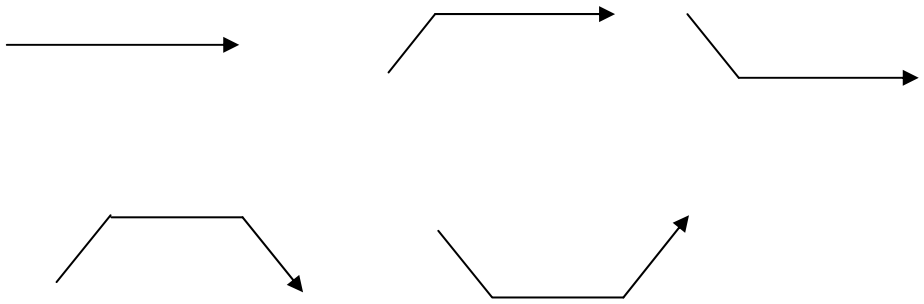


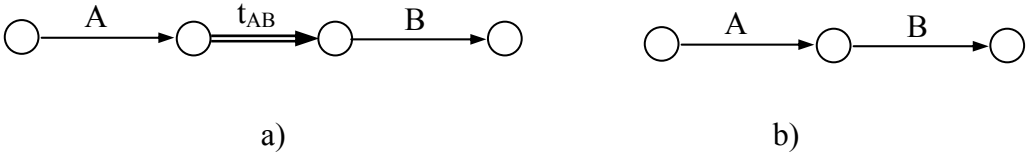
Figura 3.3 Reprezentarea activităților prin arce

Pentru reprezentarea corectă a proiectului (respectarea dependențelor tehnologice sau organizatorice, claritatea desenului, etc.), cât şi pentru o standardizare a reprezentării (pentru a putea fi înțeles şi de alți utilizatori decât cel care l-a proiectat) în desenarea grafului se respectă următoarele reguli (figura 3.3):

- fiecare activitate se reprezintă printr-un arc a cărui orientare indică, pentru activitate, desfăşurarea ei în timp;

- un arc este limitat prin două noduri (reprezentate prin cerculețe) care simbolizează momentele de început şi de sfârşit ale executării activității corespunzătoare;
- lungimea fiecărui arc, în general, nu este proporțională cu lungimea activității;
- activitățile vor fi reprezentate prin arce de diferite forme esențială fiind porțiunea orizontală, pe care se vor trece informațiile despre activitate;
- lungimea şi înclinarea arcului au în vedere numai considerente grafice, pentru urmărirea uşoară a întregului graf;
- deoarece respectarea tuturor regulilor nu se poate face doar cu arce care corespund doar activităților proiectului, se vor utiliza şi arce care nu corespund nici unei activități consumatoare de timp şi resurse, care vor fi reprezentate punctat şi care, vor fi numite *activități fictive*;
- pentru reprezentarea unor dependențe de tipul *terminare – început* în care $t_{AB} > 0$, vom introduce nişte arce reprezentate prin linii duble, care corespund intervalului t_{AB}, având semnificația unor aşteptări (în acest interval se consumă doar timp, nu şi resurse) şi care vor fi numite *activități de aşteptare.*

Dacă se presupune că o activitate ***A*** este precedentă activității ***B***, în funcție de tipul de interdependență, în graficul rețea arcele corespunzătoare activităților ***A*** şi ***B*** vor avea următoarea reprezentare:



a) b)

Figura 3.4 Reprezentarea activităților de tip terminare - început
a) pentru $t_{AB} \neq 0$ b) pentru $t_{AB} = 0$

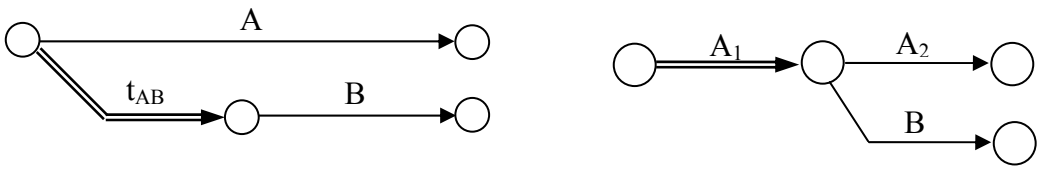


Figura 3.5 Reprezentarea activităților de tip început - început

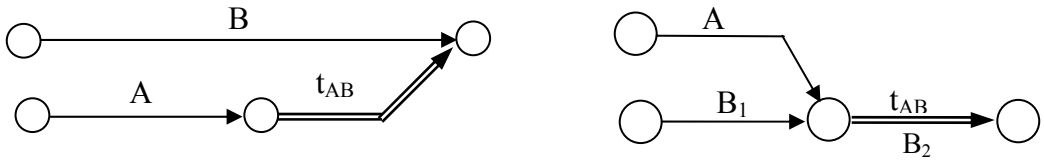


Figura 3.6 Reprezentarea activităților de tip terminare - terminare

- în graf nu sunt admise circuite (existența unuia ar însemna că orice activitate a acestuia ar fi precedentă ei însăşi);
- nodurile vor fi numerotate, numerotarea făcându-se în aşa fel încât, pentru fiecare activitate, numărul nodului de început să fie mai mic decât numărul nodului de final al activității;
- graful are un singur nod inițial (semnificând evenimentul *începerea proiectului*) şi un singur nod final (semnificând evenimentul *finalizarea proiectului*);
- orice activitate trebuie să aibă cel puțin o activitate precedentă şi cel puțin una care îi succede, exceptând bineînțeles activitățile care încep din nodul inițial al proiectului şi pe cele care se termină în nodul final al proiectului;
- este interzis ca cele două arce corespunzătoare să aibă ambele extremități comune, deşi există activități care se execută în paralel, care pot începe în acelaşi moment şi se pot termina în acelaşi moment. În acest caz reprezentarea presupune utilizarea unei activități fictive ***F*** şi a unui nod suplimentar:

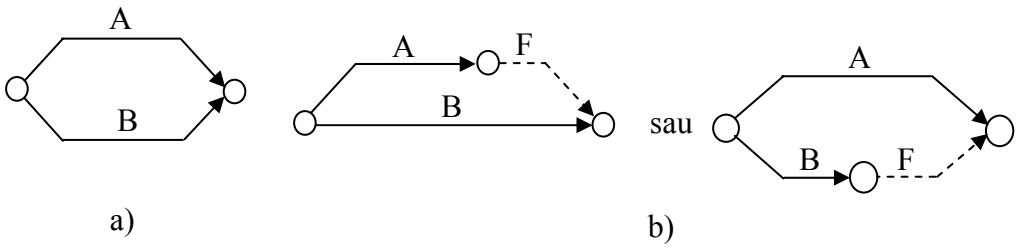


Figura 3.7 Reprezentarea corectă a activităților într-un graf prin introducerea activităților fictive. a) reprezentare incorectă; b) reprezentare corectă

- nu trebuie introduse dependențe nereale (figura 3.8).

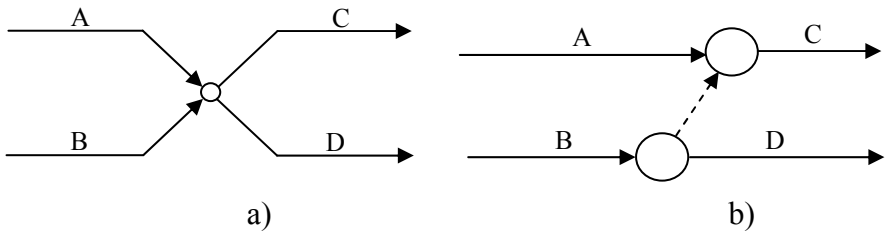


Figura 3.8 Reprezentarea dependențelor între activități prin introducerea activităților fictive. a) reprezentare incorectă; b) reprezentare corectă

- trebuie să se folosească, pe cât posibil, numărul minim de activități fictive, pentru a nu complica excesiv graficul rețea. De exemplu, același efect ca în figura 3.8. poate fi obținut şi prin reprezentarea din figura 3.9. dar presupune să se folosească o activitate fictivă în plus.

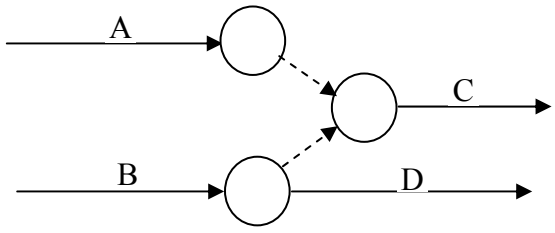


Figura 3.9

Dacă două sau mai multe activități au aceeaşi activitate direct precedentă (de exemplu, ***A*** precede activitatea ***B*** şi ***A*** precede activitatea ***C***) reprezentarea în graful-rețea va corespunde figurii 3.10.a. Arcele ***B*** şi ***C*** simbolizează două activități care nu pot începe decât după ce s-a terminat activitatea ***A***. Activitățile ***B*** şi ***C*** pot fi executate simultan. De asemenea, execuția unei activități poate depinde de terminarea mai multor activități direct precedente, de exemplu A precede activitatea ***C*** şi ***B*** precede activitatea ***C*** ca în figura 3.10.b. În această situație, activitatea ***C*** nu poate începe, logic, decât după ce s-au terminat activitățile ***A*** şi ***B*** [Hagiu V., Şerbănoiu I., 1987].

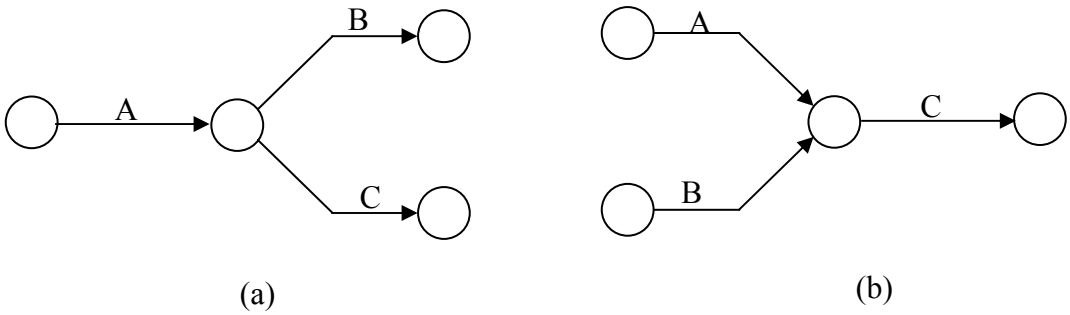


Figura 3.10

Numerotarea nodurilor permite identificarea fiecărei activități prin perechea de noduri (de început şi sfârşit).

3.2.2 METODA MPM (MATHEMATICAL PATH METHOD)

Metoda potențialelor sau *MPM* este un procedeu de analiză a drumului critic care elimină unele deficiențe ale metodei *CPM*, în care, ca şi în metoda *CPM*, se analizează parametrul timp. Diferența constă în modul de reprezentare a grafului rețea:

– fiecărei activități ***A*** i se asociază un nod ***A***;

– fiecărui nod i se asociază o valoare dată de durata activității pe care o reprezintă;

– condiționarea (succesiunea) a două activități se reprezintă printr-un arc, orientat de la o activitate la alta;

– fiecărui arc dintre două activități ***A*** şi ***B*** i se asociază un număr reprezentând valoarea t_{AB}.

Reprezentarea *activitate – nod* permite ca între activitățile unui proiect să avem mai multe tipuri de legături de precedență. Cele trei tipuri de precedență se vor reprezenta astfel:

- legătura *terminare - început* se reprezintă grafic în figura 3.11.

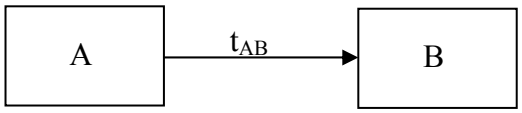


Figura 3.11

Activitatea ***B*** începe după ce s-a terminat activitatea ***A***. Putem considera că arcul (***A***, ***B***) are el însuşi o durată $t_{AB} \geq 0$, ceea ce înseamnă că activitatea ***B*** poate începe după ce s-au scurs t_{AB} unități de timp de la terminarea activității ***A***. În general, nu toate legăturile *terminare - început* au durată, cele mai multe având durata $t_{AB} = 0$.

- legătura *început-început* poate fi utilizată pentru a arăta simultaneitatea executării a două activități prin puncte de început. Aceasta este reprezentată în figura 3.12.

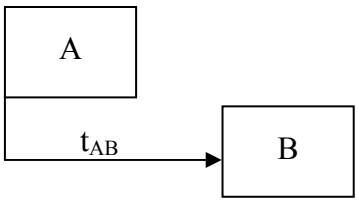


Figura 3.12

Activitatea ***B*** poate începe cu cel puțin t_{AB} unități de timp după începerea activității ***A***. Dacă $t_{AB} = 0$ activitățile pot începe în acelaşi timp.

- legătura *terminare – terminare* poate fi, de asemenea, utilizată pentru a indica simultaneitatea executării a două activități prin punctul de terminare (figura 3.13). Această legătură arată că activitatea ***A*** este terminată cu cel puțin t_{AB} unități de timp înaintea terminării activității ***B***.

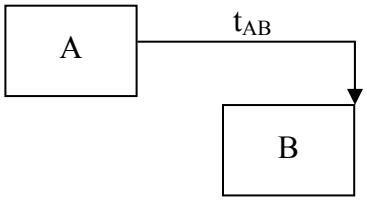


Figura 3.13

Se poate om numi *activitate de bază* orice activitate folosită ca bază de referință, față de care este format timpul de aşteptare. În figura 3.12 activitatea de bază este A iar în figura 3.13 activitatea de bază este B. Durata de aşteptare t_{AB} se raportează la activitatea de bază.

Proiectului dat prin tabelul 3.1. îi corespunde în reprezentarea activitate nod graful-rețea din figura 3.14.

Tabelul 3.1.

Activități	Dependențe
A	-
B	-
C	A
D	B
E	C
F	C
G	F, D
H	E, F

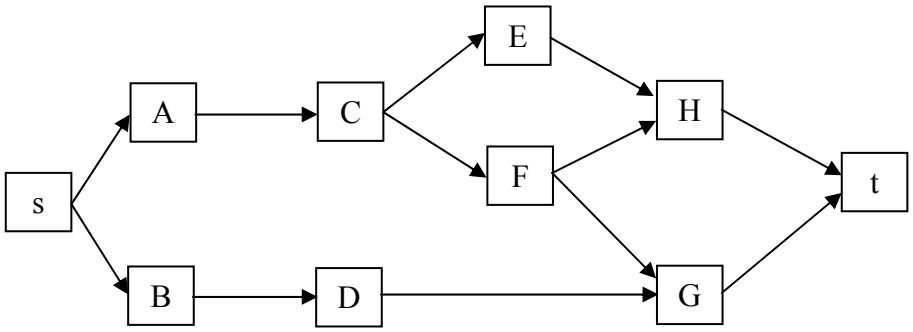


Figura 3.14

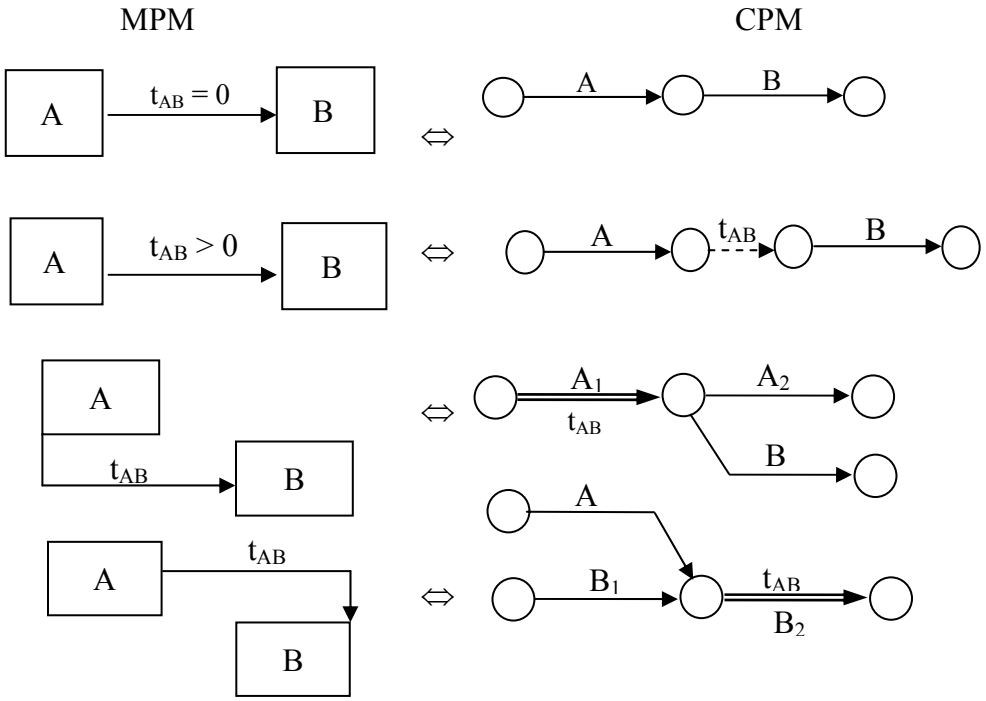


Figura 3.15

Graficul rețea în reprezentarea *activitate – nod* nu conține activități fictive, eventual cu excepția unei activități de începere şi/sau a unei activități de terminare a proiectului, necesare în cazul în care există mai multe activități care nu sunt condiționate de nici o activitate a proiectului (acestea devenind toate noduri inițiale ale proiectului, deşi trebuie să fie un singur nod inițial) sau,

analog, în cazul în care sunt mai multe activități care nu au nici o activitate care să le succeadă.

Între un graf rețea în reprezentarea *activitate – nod* şi un graf rețea în reprezentarea *activitate – arc* se pot defini anumite similitudini (figura 3.15).

3.3 PROGRAMAREA PRIN ANALIZA PARAMETRULUI TIMP PRIN REȚELE TIP CPM

În cadrul acestui procedeu al MDC singurul parametru care face obiectului programarii este *timpul***.** Rezultatul programării este ansamblul datelor de începere şi terminare a tuturor acțiunilor legate de realizarea unei construcții, numit *program de termene*. Analiza parametrului timp este procedeul de baza al MDC. Elaborarea unui astfel de program presupune parcurgerea etapelor următoare:

- analiza proiectului şi stabilirea listei activităților;
- elaborarea graficului rețea;
- stabilirea duratelor activităților;
- calculul elementelor graficului rețea;
- analiza încadrării în restricții temporale;
- transpunerea calendaristică a graficului rețea.

3.3.1 ANALIZA PROIECTULUI ŞI STABILIREA LISTEI ACTIVITĂȚILOR

La definirea listei de activități trebuie analizat proiectul de construcție şi folosită experiența în activitatea de contrucții pentru a răspunde pentru fiecare activitate la întrebările:

- ce alte activități succed sau preced această activitate ?;
- care este durata activității ?.

Se poate întocmi astfel o fişă a activităţilor care conţine activităţile proiectului, legăturile dintre activităţi şi duratele acestora.

Fişa activităţilor trebuie să conţină cel puţin următoarele elemente:

- *activităţile* - în această coloană se enumeră activităţile proiectului, fiind puse în evidenţă printr-un cod (***i*** - nod de început, ***j*** – nod de sfârşit);
- *condiţionările* - se precizează, pentru fiecare activitate, activităţile imediat precedente;
- *durata* - pentru fiecare activitate se precizează durata de execuţie, într-o anumită unitate de măsură;
- *resursa* - pentru fiecare activitate se poate preciza resursa necesară realizării acelei activităţi (resursa materială, umană sau financiară).

Execuţia unei construcţii are la baza proiectul de execuţie care cuprinde piese desenate, antemăsurători, devize pe categorii de lucrări ş.a. Piesele desenate redau forma, structura şi elementele construcţiei şi ale obiectului în ansamblul lui. Antemăsurătoarea redă articolele de lucrări stabilite pe baza de norme de deviz, cu cantităţile aferente.

De aceea, *antemăsurătoarea* nu trebuie confundată cu lista de lucrări, pentru că ea nu redă activităţile cu caracter tehnic *(trasarea lucrărilor, recepţia lucrărilor etc.),* cu caracter organizatoric (*aprovizionarea cu materiale şi prefabricate grele, asigurarea şantierului cu utilaje ş.a.)* întreruperile tehnologice etc.

Normele de deviz pe baza cărora se întocmesc antemăsurătorile comasează cât mai multe operaţii care în realitate sunt distincte *(de ex., decofrarea elementelor de construcţie este cuprinsă ca operaţie a articolelor de cofrare dar ea se execută distinct la intervale de timp ce variază în limite foarte largi).*

Articolele de antemăsurătoare cumulează de obicei două sau mai multe activităţi distincte (*de ex. turnarea betonului la o fundaţie în antemăsurătoare*

este cuprinsă ca o cantitate totală pe când în graficul rețea este defalcată pe etape) [Sălceanu Ctin., ş.a., 1992].

Sunt situații în care *necesitățile tehnologice şi organizatorice* necesită ca două sau mai multe activități să se constituie într-o singură activitate.

Stabilirea listei activităților necesită parcurgerea etapelor următoare:

a) *stabilirea unei liste de activități principale*, în funcție de tehnologia de execuție a elementelor (*de ex, activități de săpături, betoane de egalizare, montare armătură, turnare beton în elemente armate, cofrare, decofrare*).

b) *defalcarea activităților principale***,** de la punctul precendent în subactivități în funcție de delimitarea şi desfăşurarea în spațiu pentru care se face o ipoteză inițială ce ulterior poate fi modificată ca urmare a rezultatelor calculului duratelor activităților.

c) *stabilirea activităților cu caracter tehnic (trasări, recepții lucrări, verificări pe parcursul execuție*), organizatoric (*aprovizionare cu materiale, prefabricate, utilaje, surse de energie şi alte utilități ş.a*.) legislativ, financiar care condiționează realizarea activităților de la punctele precedente;

d) *stabilirea condiționărilor tehnologice* sub formă de întreruperi tehnologice în funcție de condițiile climatice, scopul urmărit ş.a.

3.3.2. ELABORAREA GRAFICULUI REȚEA

Toate activitățile care formează programul de execuție a unei lucrări trebuie corelate în legătură cu desfăşurarea în timp şi spațiu printr-un model grafic care descrie clar toate activitățile şi condiționările dintre ele în funcție de complexitatea lucrării.

Cu ajutorul listei de lucrări se reprezintă activitățile prin arce orientate delimitate ca moment de început şi sfârşit prin noduri urmărindu-se :

- dacă există activități care condiționează alte activități şi care sunt acelea;
- care sunt activitățile care pot fi începute dacă se termina activitatea (***i,j***);

- care sunt activitățile care trebuie terminate ca să poată începe activitatea (***i,j***).

Se continuă astfel până când se obține graficul rețea sub forma unei scheme logice, ordonate şi sistematizate a tehnologiei şi organizării.

Forma definitivă a graficului se obține prin analiza mai multor variante astfel încât să redea cât mai corect şi clar structura tehnologică şi organizatorică a execuției unei construcții.

3.3.3 STABILIREA DURATELOR ACTIVITĂȚILOR

În această etapă se stabileşte unitatea de măsură unică pentru timp adică, ziua cu regim de lucru de un schimb (10 ore), 2 sau 3 schimburi.

În stabilirea duratelor se remarcă două situații:

a) *activități pentru care există norme de timp* sau alte reglementari normative (*de exemplu, timpul necesar întăririi betoanelor, decofrării elementelor de beton, uscării tencuielilor ş.a.*);

b) *activități pentru care nu există norme de timp* sau alte reglementari cum ar fi trasarea lucrărilor, recepția lucrărilor, aprovizionarea cu diverse materiale, asigurarea şantierului cu utilaje etc. În aceste situații duratele se pot aprecia pe baza experienței şi a evidențelor statistice rezultate din perioada anterioară.

Pentru procesele de construcții manuale (*săpături manuale, compactarea pământului cu maiul de mână etc.*) determinarea duratei depinde de unele restricții:

- numărul de muncitori disponibili;
- dimensiunile limitate ale frontului de lucru.

Durata de execuție a activităților din graficul rețea se poate calcula cu formula care face legătura dintre parametrii organizatorici, parametrii de desfăşurare în spațiu şi parametrii de desfăşurare în timp, în funcție de tipul activității: manuale sau mecanizate.

- procese manuale $$t_{ij}^{m} = \frac{Q_i N_{Ti}}{d_s \gamma \cdot (g \cdot m_i) I_i} \quad (3.9)$$

- procese mecanizate $$t_{ij}^{M} = \frac{Q_i N_{TUi}}{d_s \gamma \cdot (g \cdot u_i) K_{FU}} \quad (3.10)$$

unde $\boldsymbol{Q_i}$, volumul de lucrari dat de antemăsurătoare în funcție de unitatea de măsură la care este raportată norma de timp; $\boldsymbol{N_{Ti}}$, $\boldsymbol{N_{TUi}}$, norma de timp pentru formația de muncitori (în cazul proceselor manuale), respectiv utilaje (în cazul proceselor de construcții mecanizate), necesară execuției unei unități de măsură din lucrare cu o formație minimă de muncitori, respectiv utilaje; $\boldsymbol{d_s}$, durata schimbului parametru caracteristic tipului de organizare a antreprizei de construcții (*ore*); $\boldsymbol{m_i}$, $\boldsymbol{u_i}$, formația minimă de muncitori respectiv de utilaje funcție de care au fost dimensionate normele de timp; $\boldsymbol{g}$, numărul întreg de formații minime de muncitori, respectiv utilaje utilizate în execuție; $\boldsymbol{I_i}$, indicele de îndeplinire a normei; $\boldsymbol{K_{FU}}$, coeficient de folosire a utilajului, având valoare subunitară care ține cont de faptul că utilajele în construcții nu sunt utilizate pe toată durata schimbului; $\boldsymbol{\gamma}$, numărul de schimburi.

Duratele de execuție ale activităților folosesc la stabilirea termenelor minime, a termenelor maxime de execuție cât şi a rezervelor de timp alocate acelor activități necritice (activități care nu se găsesc pe drumul critic). Activitățile critice au termenul minim de execuție egal cu termenul maxim iar rezerva totală este zero. Durata totală de execuție a lucrării va fi dată de termenele corespunzătoare nodului final din graficul rețea.

3.3.4 CALCULUL ELEMENTELOR GRAFICULUI REȚEA

Analiza proiectului constă în determinarea duratei minime a proiectului, determinarea intervalelor de timp în care poate avea loc fiecare din evenimentele reprezentate prin noduri şi determinarea intervalelor de timp în

care pot fi programate activităţile, astfel încât să se respecte toate condiţionările şi să obţinem timpul minim de execuţie al proiectului.

Este evident că durata minimă de execuţie a proiectului este cel mai mic interval de timp în care pot fi efectuate toate activităţile din proiect. O succesiune de activităţi corespunde unui drum în graf şi deci, durata minimă de execuţie a proiectului este drumul cu durata minimă al tuturor drumurilor din graf. Cum există un număr finit de drumuri, mulţimea lungimilor acestora este finită şi cel mai mic minorant al ei este maximul acesteia, adică durata drumului de lungime maximă. Deoarece graful nu are circuite şi are un singur punct iniţial şi unul singur final, este evident că cele mai lungi drumuri vor fi cele dintre nodul iniţial şi cel final. Avem deci de găsit drumul de lungime maximă dintr-un graf fără circuite.

Conform acestui principiu, se calculează pentru fiecare nod al grafului:

a) *Termenul cel mai devreme de realizare* a evenimentului ***j***. Acest termen reprezintă momentul cel mai devreme posibil de terminare a tuturor activităţilor care converg în nodul ***j*** şi este egal cu valoarea maximă a drumurilor dintre evenimentul iniţial ***1*** şi evenimentul ***j***, pe care îl vom nota cu $t_j^m = d_{max}(1,j)$. Termenul cel mai devreme (numit şi termenul minimal) a evenimentului ***j***, conform algoritmului lui Ford în grafuri $\boldsymbol{G} = (\boldsymbol{X},\boldsymbol{\Gamma})$ fără circuite, se calculează astfel:

$$t_j^m = \max_{(i,j)\in\Gamma}\left(t_i^m + d_{ij}\right) \quad , \quad 1 < j \le n \qquad (3.11)$$

Dacă $t_1 = 0$, pentru evenimentul iniţial ***1*** şi, în acest caz, termenul de realizare cel mai devreme al unui eveniment oarecare ***j*** va fi dat de formula:

$$t_j^m = \begin{cases} 0 & j = 1 \\ \max\limits_{(i,j)\in\Gamma}\left(t_i^m + d_{ij}\right) & 1 < j \le n \end{cases}$$

Această formulă permite calculul termenelor pentru evenimente, prin parcurgerea grafului-rețea de la nodul inițial către nodul final şi durata minimă de execuție a proiectului va fi termenul cel mai devreme de realizare al nodului final al grafului.

Acest termen devine termenul impus de realizare al proiectului şi el nu mai poate fi depăşit, decât dacă apar probleme în organizare execuției obiectului de construcție.

b) *Termenul cel mai târziu de realizare* a evenimentului ***i***. Acest termen (numit şi termen maximal) reprezintă momentul cel mai târziu posibil de începere a activităților care pleacă din nodul ***i*** astfel încât toate succesiunile de activități dintre acest nod şi nodul final să mai poată fi efectuate până la termenul final de realizare al proiectului şi este egal cu diferența între durata minimă de realizare a proiectului şi durata drumului de lungime maximă dintre evenimentul ***i*** şi ***n***.

Acest termen se notează cu

$$t_i^M = d_{max}(1, n) - d_{max}(i, n) \qquad (3.12)$$

Pentru calcularea acestor momente trebuie calculate duratele drumurilor de la nodul final spre nodul inițial şi apoi scăzute din durata minimă a proiectului, calcul care va fi făcut aplicând, de asemenea, algoritmul lui Ford simplificat.

Conform celor de mai sus, termenul cel mai târziu de realizare a unui eveniment, cu respectarea duratei minime a proiectului (notată $\boldsymbol{T} = \boldsymbol{d_{max}}(1,n) = t_n^m$), este dată de formula:

$$t_i^M = \begin{cases} T & j = 1 \\ \min\limits_{(i,j)\in\Gamma}\left(t_j^M - d_{ij}\right) & 1 \le i < n \end{cases} \qquad (3.13)$$

Intervalul $[t_j^m, t_j^M]$ se numeşte *intervalul de fluctuaţie* al evenimentului ***j***. Evenimentul ***j*** se poate plasa în orice moment al acestui interval de fluctuaţie, fără a periclita durata totală a întregului proiect. Acest interval îl putem defini ca pe o rezervă de timp ***R(j)*** a evenimentului ***j***:

$$R(j) = t_j^M - t_j^m \qquad (3.14)$$

Dacă ***R(j)*** = 0 evenimentul ***j*** trebuie să aibă loc la termenul fixat $t_j^M = t_j^m$, pentru că orice întârziere va duce la prelungirea duratei întregului proiect.

Exemplu: Pentru o bună organizare a datelor prezentate în tabelul 3.1 vom reprezenta fiecare eveniment al proiectului printr-un cerc divizat în trei părţi, în care vom trece în partea de sus numărul evenimentului ***i***, în partea inferioară-stânga termenul cel mai devreme de realizare t_j^m şi în partea inferioară-dreapta termenul cel mai târziu de realizare t_j^M (figura 3.16).

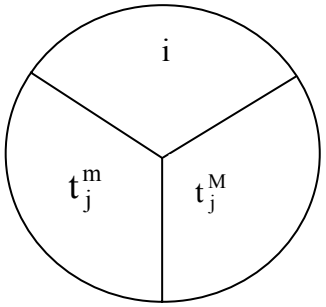


Figura 3.16

În figura 3.17 a fost desenat graful asociat proiectului.

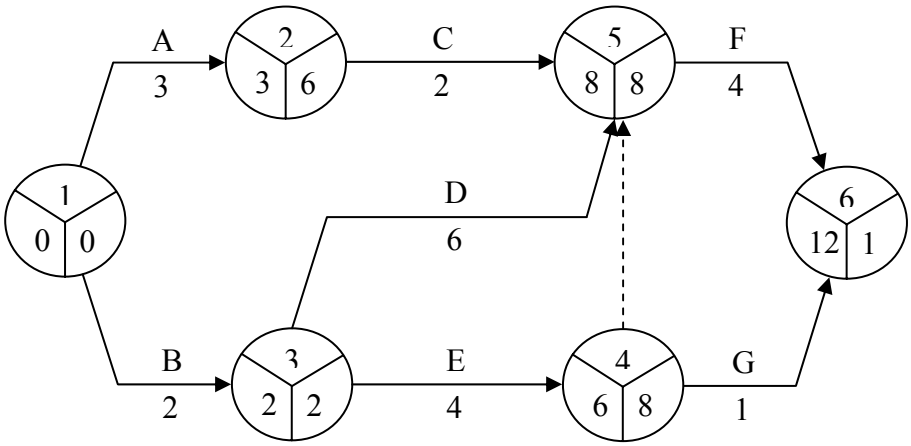


Figura 3.17

Primul eveniment se consideră a avea loc la momentul $t_1 = 0$. Calculul termenelor minimale porneşte de la primul eveniment, având în vedere că se poate calcula termenul cel mai devreme al unui eveniment numai dacă acesta a fost calculat pentru toate evenimentele precedente:

$t_1^m = 0$

$t_2^m = \max (t_1^m + d_{12}) = \max (0 + 3) = 3$

$t_3^m = \max (t_1^m + d_{13}) = \max (0,2) = 2$

$t_4^m = \max (t_3^m + d_{34}) = \max (2 + 4) = 6$

$t_5^m = \max (t_2^m + d_{25},\ t_3^m + d_{35},\ t_4^m + d_{45}) = \max (3 + 2, 2 + 6, 6 + 0) = 8$

$t_6^m = \max (t_4^m + d_{46},\ t_5^m + d_{56}) = \max (6 + 1, 8 + 4) = 12$

Calculul termenelor maximale se face considerând durata minimă a proiectului T = 12, începând de la ultimul nod, având în vedere că se poate calcula termenul cel mai târziu al unui eveniment numai dacă acesta a fost calculat pentru toate evenimentele care îi succed. Pentru aceasta se ia $t_6^M = 12$ şi se calculează:

$t_5^M = \min (t_6^M - d_{56}) = \min (12 - 4) = 8$

$t_4^M = \min (t_6^M - d_{46},\ t_5^M - d_{45}) = \min (12 - 1,\ 8 - 0) = 8$

$t_3^M = \min (t_5^M - d_{35},\ t_4^M - d_{34}) = \min (8 - 6,\ 8 - 4) = 2$

$t_2^M = \min (t_5^M - d_{25}) = \min (8 - 2) = 6$

$t_1^M = \min (t_2^M - d_{12},\ t_3^M - d_{13}) = \min (6 - 3,\ 2 - 2) = 0$

Următoarea etapă în analiza proiectului constă în aflarea termenelor între care trebuie să se efectueze activitățile, calculându-se în acest sens, pentru fiecare activitate (***i,j***), momentul minim de începere: $t_m^{\hat{i}}(i,j)$, momentul minim de terminare: $t_m^t(i,j)$, momentul maxim de începere: $t_M^{\hat{i}}(i,j)$ şi momentul maxim de terminare: $t_M^t(i,j)$.

Momentul (termenul minim) de începere cel mai devreme a activității ***(i,j)***. Deoarece o activitate nu poate începe decât după ce se termină toate cele precedente, momentul minim de începere este evident termenul cel mai devreme de realizare a activității ***(i,j)***:

$$t_m^{\hat{i}}(i,j) = t_i^m \qquad (3.15)$$

Momentul (termenul minim) de terminare cel mai devreme a activității (***i,j***) este egal cu suma dintre termenul cel mai devreme de începere şi durata activității ***(i,j)***:

$$t_m^t(i,j) = t_m^{\hat{i}}(i,j) + d_{ij} \qquad (3.16)$$

Momentul (termenul maxim) de terminare cel mai târziu a activităţii (***i,j***) este definit de termenul cel mai târziu de realizare a evenimentului ***(i,j)***:

$$t_M^t(i,j) = t_j^M \qquad (3.17)$$

Momentul (termenul maxim) de începere cel mai târziu a activităţii (***i,j***) este egal cu diferenţa dintre termenul cel mai târziu de terminare şi durata activităţii ***(i,j)***:

$$t_M^{\hat{i}}(i,j) = t_M^t(i,j) - d_{ij} \qquad (3.18)$$

Aceste momente ne dau informaţii în legătură cu intervalul în care poate fi situată o activitate, dar nu spun care este diferenţa între o plasare posibilă sau alta. În acest scop se pot calcula, pentru fiecare activitate (***i,j***), următoarele rezerve de timp:

Rezerva totală de timp (***R_T***) a unei activităţi (***i,j***), ca fiind diferenţa dintre termenul cel mai târziu de terminare şi termenul cel mai devreme de terminare:

$$R_T(i,j) = t_M^t - t_m^t = t_M^t - t_m^{\hat{i}} - d_{ij} = t_j^M - t_i^m - d_{ij} \qquad (3.19)$$

Rezerva totală de timp a unei activităţi (***i,j***) reprezintă timpul maxim cu care se poate amâna sau se poate mări durata activităţii, fără depăşirea termenului final de execuţie al proiectului.

Rezerva liberă de timp (***R_L***) a unei activităţi (***i,j***):

$$R_L(i,j) = t_j^m - t_i^m - d_{ij} \qquad (3.20)$$

Diferenţa între rezerva totală şi rezerva liberă:

$$R_T(i,j) - R_L(i,j) = t_j^M - t_j^m \qquad (3.21)$$

pentru o activitate (***i,j***), este egală cu fluctuația evenimentului final ***j*** al activității. De aici rezultă că rezerva liberă a unei activități (***i,j***) reprezintă intervalul de timp ca parte a rezervei totale de timp, cu care o activitate se poate amâna (sau se poate mări durata activității) fără a perturba termenul cel mai devreme de realizare al termenului final ***j*** (adică fără a consuma din rezervele de timp ale activităților care o succed).

Rezerva independentă de timp (R_I) a unei activități (i,j):

$$R_I(i,j) = t_j^m - t_i^M - d_{ij} \qquad (3.22)$$

Rezerva independentă de timp a unei activități (***i,j***) există dacă $R_I(i,j) > 0$ şi dacă există, ea reprezintă timpul maxim cu care se poate amâna (sau se poate mări durata activității) astfel încât să nu perturbe fluctuația evenimentelor de la extremităților activității. Dacă $R_I(i,j) \leq 0$ atunci activitatea (***i,j***) nu are rezervă independentă de timp. Rezerva independentă de timp arată intervalul în care poate fi plasată o activitate fără a consuma nici din rezervele de timp ale activităților ce o preced, nici din cele ale celor ce o succed.

Diferența între rezerva liberă şi rezerva independentă:

$$R_L(i,j) - R_I(i,j) = t_i^M - t_i^m \qquad (3.23)$$

este egală cu fluctuația evenimentului ***i*** (cu care începe activitatea).

Intervalele de fluctuație pentru evenimente şi rezervele libere de timp pentru activități caracterizează *flexibilitatea* unui program de execuție a lucrărilor de construcții. Cu cât acestea sunt mai mici cu atât programul este mai rigid [Hagiu V., Şerbănoiu I., 1987].

Drumul (drumurile) a cărui lungime este egală cu durata minimă de execuție a proiectului se numeşte *drum critic*. Este clar că orice amânare a unei activități a acestuia duce la lungirea duratei de execuție a proiectului, deci nici una din aceste activități nu dispune de rezervă de timp. Activitățile de pe drumul critic şi prin extensie, orice activitate care nu dispune de rezervă de timp, se numeşte *activitate critică.*

O *activitate critică* (i,j) este caracterizată prin:

$$t_i^m = t_i^M, \quad t_j^m = t_j^M, \quad t_j^m - t_i^m = d_{ij} \tag{3.24}$$

De aici rezultă că, pentru o activitate critică, avem:

$$R_T(i,j) = R_L(i,j) = R_I(i,j) = 0 \tag{3.25}$$

Termenele calculate pentru evenimente sunt utile în primul rând pentru calculul termenelor pentru activități, dar ele servesc şi pentru evaluarea stadiului de realizare al proiectului, verificând dacă termenele de realizare pentru fiecare eveniment se află în intervalul de fluctuație.

În practica execuției lucrărilor de construcții este nevoie de multe ori să cunoaştem stadiul realizării acestora unor activități. În primul rând interesează activitățile critice (cele situate de-a lungul drumului critic), ele trebuind să fie realizate la termenele calculate. Aceste activități nu dispun de rezervă de timp, deci trebuie să înceapă şi să se termine exact la termenele calculate, pentru a nu depăşi termenul de finalizare al proiectului. Celelalte activități pot fi amânate cu rezervele lor de timp, dar consumarea acestora face ca proiectul să devină rigid.

Pentru activitățile proiectului analizat mai sus, termenele activităților şi rezervele de timp sunt date în tabelul 3.2.

Tabelul 3.2

Activități	Condiționări	Durate	$t_m^{\hat{i}}$	t_m^t	$t_M^{\hat{i}}$	t_M^t	R_T	R_L	R_I
A = (1,2)	-	3	0	3	3	6	3	0	0
B = (1,3)	-	2	0	2	0	2	0	0	0
C = (2,4)	A	2	3	5	6	8	3	3	0
D = (3,4)	B	6	2	8	2	8	0	0	0
E = (3,5)	B	4	2	6	4	8	2	0	0
F = (4,6)	C, D, E	4	8	12	8	12	0	0	0
G = (5,6)	E	1	6	7	11	12	5	5	0

Conform tabelului 3.2 proiectul este foarte rigid, nici o activitate nedispunând de rezervă independentă de timp.

Examinarea reperelor de timp permite cunoaşterea posibilităților pe care le are un manager de program de a interveni la timp pentru executarea la termenele calculate a tuturor activităților unui proiect dat. Durata proiectului calculată prin această metodă nu poate fi redusă prin micşorarea rezervelor.

Calculul acestor termene din graficul rețea permit definirea drumului critic - *drumul critic este traseul complet într-un grafic rețea între nodul inițial şi nodul final cu lungimea cea mai mare având activitățile marcate în noduri unde termenul minim este egal cu termenul maxim şi rezerva totală a activităților este zero*.

3.3.5 TRANSPUNEREA CALENDARISTICĂ A GRAFICULUI REȚEA

Acest grafic rețea este apoi utilizat la trasarea graficului Gantt (eşalonarea calendaristică) care ne oferă informații referitoare la momentul calendaristic corespunzător începerii lucrărilor şi la cel de finalizarea a acestora.

Ordinea de configurare a activităților în eşalonare respectă următoarele priorități:

- în ordinea creşterii termenului minim de începere a activităților;
- activitățile critice;

- activități cu durata cea mai mică de execuție;
- pentru activități necritice prioritare sunt activitățile care au rezerva totală cea mai mică şi activitățile cu durata cea mai mică.

Printre avantajele metodei CPM (şi în general ale analizei drumului critic) evidențiem:

- determinarea cu anticipație a duratei de execuție a proiectelor complexe;
- pe timpul desfăşurării proiectului se poate controla permanent execuția acestuia;
- explicitarea legăturilor logice şi tehnologice dintre activități;
- evidențierea activităților critice;
- evidențierea activităților necritice, care dispun de rezerve de timp;
- permite efectuarea de actualizări periodice fără a reface graful;
- oferă posibilitatea de a efectua calcule de optimizare a duratei unui proiect, după criteriul costului;
- reprezintă o metodă operativă şi rațională care permite programarea în timp a activităților ținând seama de resurse.

Dezavantajele acestei metode sunt în principal:

– dificultățile în desenarea grafului, fiind foarte greu de reprezentat exact toate condiționările din proiect, în condițiile în care acestea sunt foarte complicate iar desenul trebuie să fie destul de simplu şi clar încât să fie util;

– chiar dacă se respectă toate regulile de construire a grafului, fiecare proiectant poate reprezenta o variantă de graf rețea astfel încât două reprezentări ale aceluiaşi proiect de execuție să nu semene aproape deloc;

– din cele de mai sus se vede că reprezentarea este greoaie chiar dacă toate condiționările ar fi de tipul *terminare–început* cu precedență directă, încercarea de a forma graful în condițiile existenței şi a celorlalte tipuri de interdependențe ducând foarte repede la un desen extrem de încărcat şi greu de folosit.

3.4 ELABORAREA GRAFICELOR REȚEA TIP MPM

La elaborarea graficelor rețea tip MPM se parcurg aceleaşi etape ca în cazul graficelor CPM.

Calculul termenelor în reprezentarea tip *activitate–nod* este asemănătoare cu cea din reprezentarea tip *activitate-arc*. În această reprezentare un nod al grafului se reprezintă printr-un dreptunghi compartimentat în şase zone, care vor fi completate astfel:

- centru – sus: numărul sau simbolul activității: ***i***, ***A***, …
- centru – jos: durata activității: ***d(i)***, ***d(A)***, …
- stânga–sus: termenul cel mai devreme al începerii activității:

$$t_m^{\hat{i}}(i),\ t_m^{\hat{i}}(A),\ \ldots$$

- dreapta – sus: termenul cel mai devreme al terminării activității:

$$t_m^{t}(i),\ t_m^{t}(A),\ \ldots$$

- stânga – jos: termenul cel mai târziu al începerii activității:

$$t_M^{\hat{i}}(i),\ t_M^{\hat{i}}(A),\ \ldots$$

- dreapta – jos: termenul cel mai târziu al terminării activității:

$$t_M^{t}(i),\ t_M^{t}(A),\ \ldots$$

Aceste elemente se pot reprezenta ca în figura 3.18.

$t_m^{\hat{i}}$	i	t_m^t
$t_M^{\hat{i}}$	d(i)	t_M^t

$t_m^{\hat{i}}$	A	t_m^t
$t_M^{\hat{i}}$	d(A)	t_M^t

Figura 3.18

Se pot analiza relațiile dintre activități analizând activitățile ***A*** şi ***B***. Pentru uşurința calculului vom urmări figurile 3.19 şi 3.20.

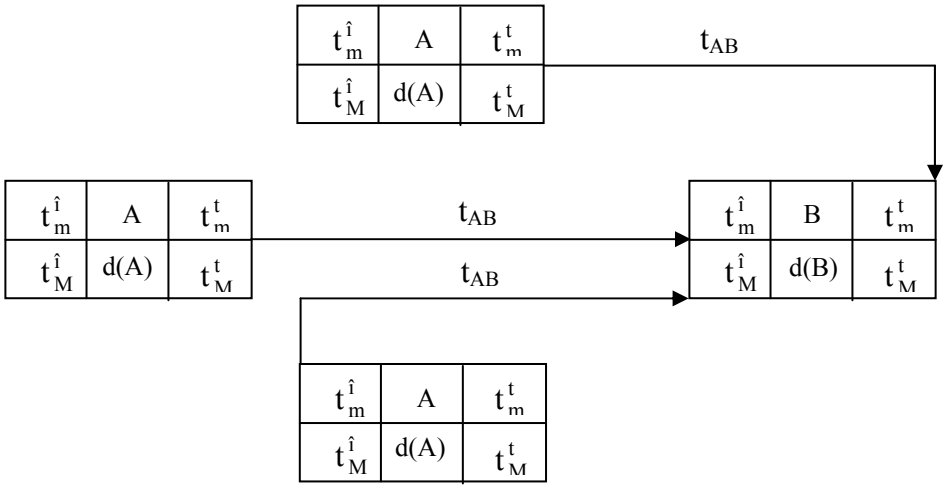


Figura 3.19

Termenul cel mai devreme al începerii activității ***B***, conform figurii 3.19 va fi dat de formula:

$$t_m^{\hat{i}}(B) = \begin{cases} 0 & \text{dacă B este o activitate de început} \\ \max\limits_A \begin{cases} t_m^t(A) + t_{AB} & \text{terminare - început} \\ t_m^{\hat{i}}(A) + t_{AB} & \text{început - început} \\ t_m^t(A) + t_{AB} - d(B) & \text{terminare - terminare} \end{cases} \end{cases} \qquad (3.26)$$

unde activitatea ***A*** este precedentă activității ***B*** şi t_{AB} este o durată de aşteptare ≥ 0.

Termenul cel mai devreme al terminării activității ***B*** este egal cu suma dintre termenul cel mai devreme al începerii activității ***B*** şi durata sa:

$$t_m^t(B) = t_m^{\hat{i}}(B) + d(B) \qquad (3.27)$$

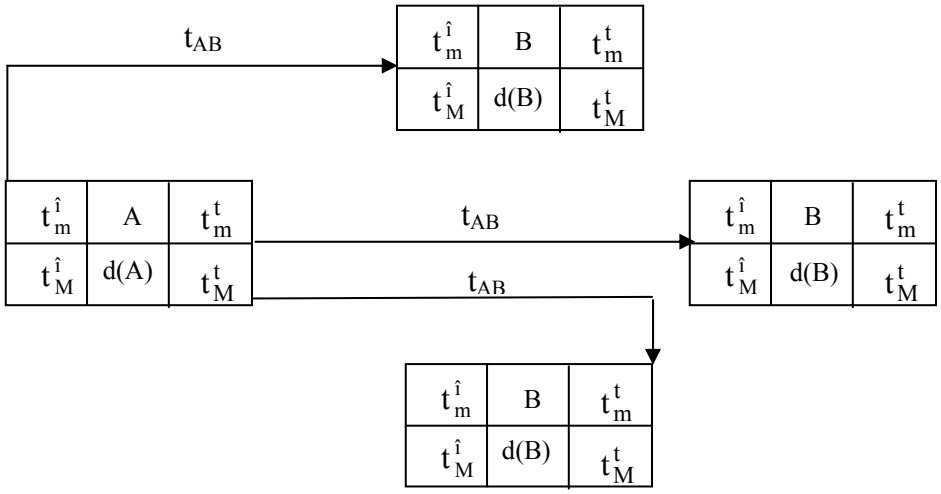


Figura 3.20

Termenul cel mai târziu de terminare a activității ***A***, conform figurii 3.20 va fi dat de formula:

$$t_M^t(A) = \begin{cases} T & \text{dacă A este o activitate finală} \\ \min\limits_B \begin{cases} t_M^{\hat{i}}(B) - t_{AB} & \text{terminare - început} \\ t_M^{\hat{i}}(B) - t_{AB} + d(A) & \text{început - început} \\ t_M^t(B) - t_{AB} & \text{terminare - terminare} \end{cases} \end{cases} \qquad (3.28)$$

unde activitatea ***A*** este direct precedentă activității ***B*** şi t_{AB} este o durata de aşteptare ≥ 0.

Termenul cel mai târziu de începere al activității ***A*** este egal cu diferența dintre termenul cel mai târziu de terminare al activității ***A*** şi durata sa:

$$t_M^{\hat{i}}(A) = t_M^t(A) - d(A) \qquad (3.29)$$

Pentru fiecare activitate vom defini următoarele rezerve de timp:

a) Rezerva totală de timp ($\boldsymbol{R_T}$) a unei activități ***A***:

$$R_T(A) = t_M^t(A) - t_m^t(A) = t_M^t(A) - t_M^{\hat{i}}(A) - d(A) \qquad (3.30)$$

b) Rezerva liberă de timp ($\boldsymbol{R_L}$) a unei activități ***A***:

$$R_L(A) = \max_B\left(t_m^{\hat{i}}(B) - t_m^{\hat{i}}(A) - d(A)\right) \qquad (3.31)$$

unde activitatea ***A*** este direct precedentă activității ***B***.

Modul cum se calculează termenele şi rezervele de timp pentru activitățile unui proiect prin metoda MPM este pus în evidență de exemplul dat prin tabelul 3.1 şi reprezentat în figura 3.21.

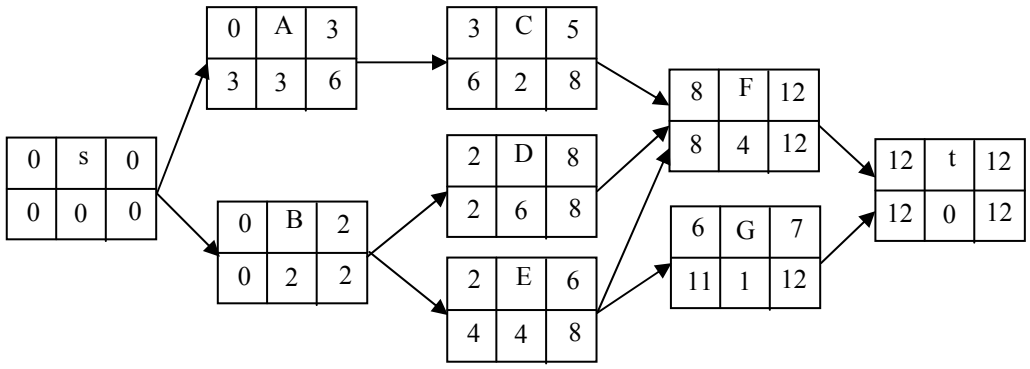


Figura 3.21

În tabelul 3.3 se prezintă activitățile cu termenele şi rezervele de timp aferente activităților proiectului.

Tabelul 3.3 Termenele şi rezervele de timp aferente activităților proiectului

Activități	Condiționări	Durate	$t_m^{\hat{i}}$	t_m^t	$t_M^{\hat{i}}$	t_M^t	R_T	R_L
A	-	3	0	3	3	6	3	0
B	-	2	0	2	0	2	0	0
C	A	2	3	5	6	8	3	3
D	B	6	2	8	2	8	0	0
E	B	4	2	6	4	8	2	0
F	C, D, E	4	8	12	8	12	0	0
G	E	1	6	7	11	12	5	5

3.5.GRAFURI REȚEA INTEGRATE ŞI CONDENSATE

În practica organizării execuției lucrărilor de construcție complexe prin metoda analizei drumului critic (ADC), nivelul de detaliere în activități a proiectelor depinde de scopul urmărit (coordonare de ansamblu sau conducere de detaliu), de termenele de execuție stabilite cu beneficiarul, de timpul avut la dispoziție pentru elaborarea grafurilor, de specialiştii disponibili etc.

Dacă graful principal care se întocmeşte pentru orientarea generală a echipei de conducere a acțiunii (graf director) este totdeauna necesar, când se face trecerea la detalii, sunt tot atât de necesare grafurilor detaliate.

În general grafurile detaliate se fac pe părți din obiectul de construcție, adică pe subansamble şi elemente de construcție. Astfel, dacă ne referim la un proiect de construcții hidrotehnice, graful corespunzător întregului proiect poate fi divizat în grafuri pe obiect, cum ar fi:

- graful proiectării;
- graful organizării şantierului;
- grafuri pentru lucrări de drumuri;

– grafuri pentru lucrări de rețele (apă, electrice etc.);

– grafuri pentru lucrări de construcții-montaj (câte unul pentru baraj, centrală hidroelectrică etc.).

Grafurile pe obiect au individualitatea lor şi se tratează ca entități de programare distincte; în acelaşi timp însă, trebuie gândită coordonarea lor în cadrul acțiunii complexe din care fac parte. În acest scop, după întocmirea separată a grafurilor pe obiect apare necesitatea asamblării lor într-un tot, care constituie *graful integrat*.

Dacă avem ***G1***, ***G2***,...,***Gn*** mai multe grafuri ADC pe obiect şi între activitățile diferitelor grafe există condiționări logice şi tehnologice şi fiecare din grafuri are o numărătoare proprie cunoscută a evenimentelor, paşii care se parcurg sunt:

Pasul 1. se desenează cele ***Gn*** grafuri;

Pasul 2. se reprezintă prin activități fictive (în reprezentarea CPM *activitate-arc*) sau săgeți (în reprezentarea MPM *activitate-nod*) toate condiționările logice şi tehnologice existente între activități din proiecte diferite;

Pasul 3. se introduce un nod suplimentar fictiv I (activitate fictivă) care va fi legat la toate nodurile (activitățile) inițiale ale grafurilor ***G1***, ***G2***, ..., ***Gn*** prin activități fictive (săgeți), acesta fiind nodul (activitatea) inițial al grafului integrat;

Pasul 4. se introduce un alt nod suplimentar fictiv ***F*** (activitate fictivă), de care se vor lega toate nodurile (activitățile) finale ale grafelor specificate, prin activități fictive (săgeți), acesta fiind nodul (activitatea) final al grafului integrat.

Pasul 5. se găseşte drumul critic în graful integrat şi se recalculează termenele activităților întregului graf.

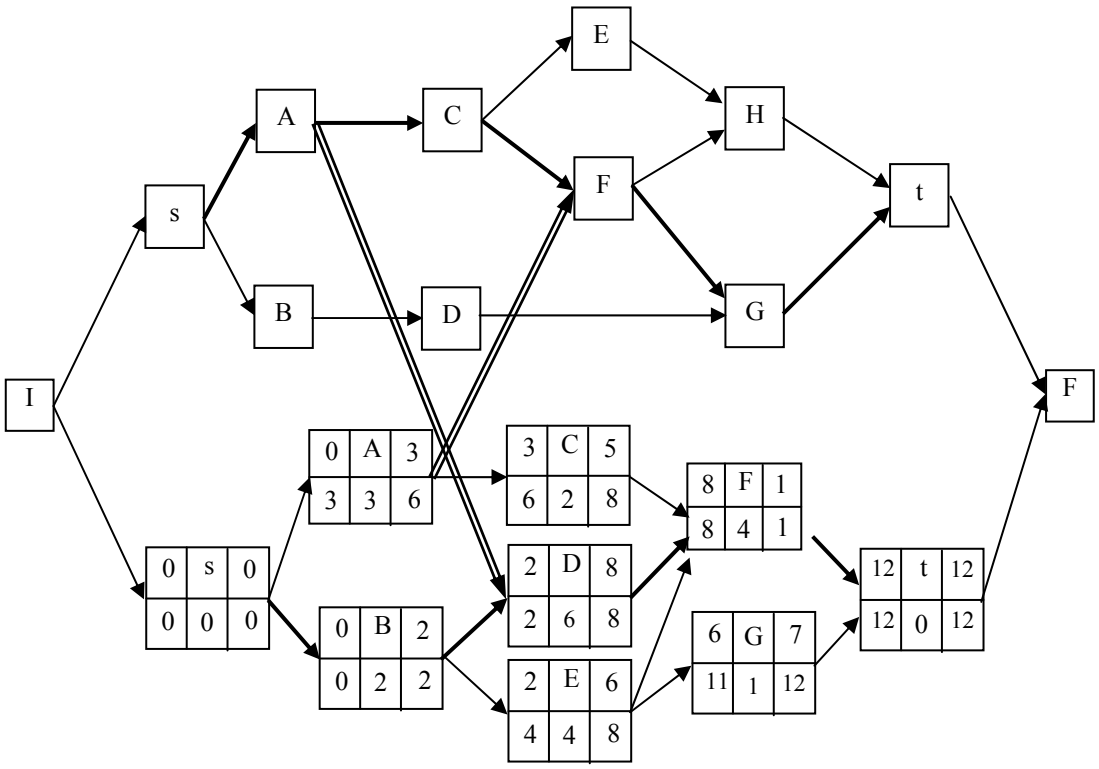


Figura 3.22 Integrarea unor grafuri CPM şi MPM

De exemplu, dacă grafurilele din figurile 3.19. şi 3.20. ar fi grafurile obiect ale unui proiect complex, atunci integrarea acestora ar avea reprezentarea din figura 3.22.

Cu linii groase s-au trasat drumurile critice din cele două grafuri şi cu linii dublate condiționările dintre activități din grafuri diferite.

Dacă la nivelul antreprizei interesează construirea şi urmărirea grafurilor pe obiecte, deci determinarea drumului critic pentru fiecare graf în parte, la nivelul coordonării întregii acțiuni va fi necesară cunoaşterea drumului critic pentru graful integrat. Acesta, de regulă, diferă de fiecare din drumurile critice ale grafelor componente şi de aceea trebuie calculat separat.

Graful integrat trebuie să respecte toate condițiile de construcție enumerate (de exemplu, prin legăturile integrate să nu apară circuite).

În foarte multe cazuri din practică, numărul activităţilor care rezultă prin integrarea mai multor grafuri pe obiect este considerabil, putând ajunge la zeci de mii, ceea ce depăşeşte de multe ori posibilitatea de a le calcula şi urmări, chiar cu ajutorul calculatoarelor puternice.

Cu atât mai puţin ar fi posibilă cuprinderea sintetică a unui asemenea graf la nivelul conducerii întregii acţiuni.

Pentru aceste motive a fost necesară găsirea unui mijloc de a reduce graful integrat, păstrându-i în acelaşi timp principalele caracteristici. Această operaţie poartă numele de *condensare* iar rezultatul aplicării acesteia asupra unui graf se numeşte *graf condensat*. Condensarea se face după următoarele reguli:

a) graful condensat va conţine în mod obligatoriu nodurile de început şi de sfârşit ale grafului şi ale fiecăruia din grafurile pe obiect componente;

b) el va cuprinde de asemenea toate activităţile şi nodurile de pe drumul critic al grafului integrat;

c) în graful condensat se vor reprezenta toate activităţile considerate deosebit de importante şi care trebuie explicitate;

d) din restul activităţilor nu se reprezintă decât activităţi sau grupe de activităţi strict necesare pentru a nu lăsa activităţi sau noduri nelegate de alte activităţi precedente sau succesoare.

În cazul grafurilor mari şi foarte mari, condensarea poate face astfel încât numărul activităţilor păstrate să reprezinte 10-20% din totalul celor din graful integrat, ceea ce reprezintă, evident, o simplificare considerabilă.

Legătura dintre diferitele grafuri care alcătuiesc graful integrat se poate evidenţia cu ajutorul aşa-numitelor *noduri de conexiune*. Acestea au, în primul rând, rolul de a permite desenarea grafurilor cu foarte multe activităţi, prin împărţirea unui astfel de graf în mai multe componente, dintre ele făcându-se prin nodurile de conexiune.

În figura 3.23 este prezentat un exemplu în care nodurile de conexiune au fost desenate prin puncte negre

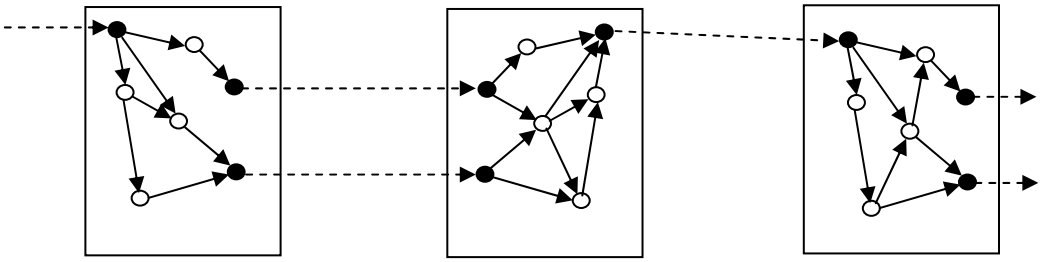


Figura 3.23 Condensarea unor grafuri rețea

Fiecare graf se poate calcula independent, ținând seama de influența termenelor din celălalt graf, cu ajutorul arcelor care intră în nodurile de conexiune, atât la calculul termenelor minime cât şi la cel al termenelor maxime.

3.6 ACTUALIZAREA GRAFURILOR ÎN ADC

În practica realizării acțiunilor complexe, sunt numeroase cazurile când estimările inițiale de durată ale activităților nu pot fi respectate. Apare astfel necesitatea ca, periodic, să se examineze modul cum se realizează termenele calculate, în scopul punerii în evidență a eventualelor întârzieri şi a luării măsurilor de recuperare a acestora.

Această activitate poartă numele de actualizare a grafurilor iar noul graf se numeşte *graf actualizat*.

Tehnica de actualizare a grafurilor poate fi descrisă succint astfel:

– la data actualizării se examinează care activități sunt terminate, care sunt în curs de execuție şi care sunt încă neîncepute. Cu această ocazie se reestimează duratele acțiunilor în curs de execuție precum şi cele neîncepute;

– se trece la recalcularea noilor termene considerând duratele activităților executate ca având durate nule, iar pentru restul activităților duratele reestimate;
– se calculează noul drum critic cu durata D_{ca}. Dacă momentul în care se face actualizarea este T_a, noua estimare a duratei proiectului va fi $D_a = T_a + D_{ca}$. Dacă această nouă durată este egală sau mai mică decât cea inițială (D), nu sunt necesare măsuri speciale, deoarece lucrarea se va încadra în termenul stabilit. Dacă, dimpotrivă, $D_a > D$ se vor lua măsuri de scurtare a lui D_{ca}, prin suplimentări sau redistribuiri de resurse.

Tehnica de actualizare descrisă mai sus este, evident, valabilă când la momentul T_a al actualizării, succesiunile şi condiționările dintre activitățile neexecutate nu se modifică. Când apar astfel de modificări, odată cu reevaluarea datelor, se stabilesc noile condiționări, operând modificările respective în graful refăcut. Deoarece, astfel de situații sunt relativ rare, procedeul de actualizare a grafelor rămâne foarte operativ, incomparabil mai simplu decât reactualizarea grafelor tip Gantt, care necesită de fiecare dată refacerea integrală a graficului.

3.7 PROGRAMAREA CU ANALIZA TIMPULUI ŞI A RESURSELOR

Activitățile de execuție a construcțiilor nu pot fi finalizate la termene dacă nu se realizează o aprovizionare cu materiale, utilaje şi mijloace de execuție în cantitatea necesară şi la momentul oportun. Trebuie să se țină seama de modul de succesiune a activităților pe şantier conform graficului Gantt.

Astfel unui program de termene de execuție îi va corespunde un program de resurse adică intervale de timp în care aceste resurse trebuie puse la dispoziția executanților.

Programele cu analiza timpului şi a resurselor nu fac doar o evaluare a necesarului de materiale ci pot realiza şi optimizări privind consumul şi

încadrarea acestuia în restricţii impuse asupra consumului adică: un maxim disponibil, un nivel de consum cât mai constant etc. [Crăciun I., 1993].

3.7.1 CLASIFICAREA RESURSELOR

Resursele în construcţii pot fi reprezentate după diverse criterii:

a) *după natura lor*

- resurse umane formată de resursa necesară realizării activităţilor ce poate fi evaluată ca resursă globală dar şi ca resursă specializată (*de ex. necesarul de fierari betonişti, faianţari, sudori etc.);*
- resurse materiale adică, materii prime, prefabricate, confecţii metalice, etc.
- utilaje de construcţii, instalaţii, echipamente, mijloace de transport;
- resurse financiare, indicate de devizele pe categorii de lucrări sub forma preţului total sau pe categorii de cheltuieli (*materiale, manopera, utilaje, transport, cheltuieli directe, cheltuieli indirecte etc.)*
- alte resure: energia electrică, termică necesară susţinerii lucrărilor de construcţii, spaţiile de depozitare etc.

b) *după posibilitatea de a fi stocate*

- resurse stocabile, adică acele resurse consumate pe şantierele de construcţii pe măsura executării lucrărilor (*resurse materiale şi financiare*)
- resursele nestocabile, care sunt utilizate pe şantierele de construcţii în anumite intervale de timp (*utilajele, mijloacele de transport, manopera etc.*).

3.7.2. PARAMETRII RESURSELOR

Dacă pentru realizarea unui proiect de construcţie este necesară execuţia a ***n*** activităţi cu ***w*** resurse atunci pentru fiecare activitate (***i,j)*** se poate defini o intensitate a resurselor adică cantitatea de resurse pe unitatea de timp necesară execuţiei.

Există relații de dependență între durata activităților (t_{ij}) şi intensitatea resurselor (r_{ij}). De asemenea, există situații în care activități diferite consumă aceeaşi resursă *(de ex. cimentul utilizat atât pentru prepararea betoanelor, cât şi pentru mortare etc.)* şi aceste activități se suprapun ca perioadă de execuție. În acest fel consumul acelei resurse va avea o variație de-a lungul duratei totale a proiectului de construcție definid astfel noțiunea de *profil al resursei*. Acest profil al resursei se caracterizează prin intensitatea zilnică a unei resurse adică suma cantității dintr-un material care se consumă în ziua ***i*** pentru execuția mai multor activități Σr_{iz} (figura 3.24) [Hagiu V., Şerbănoiu I., 1987].

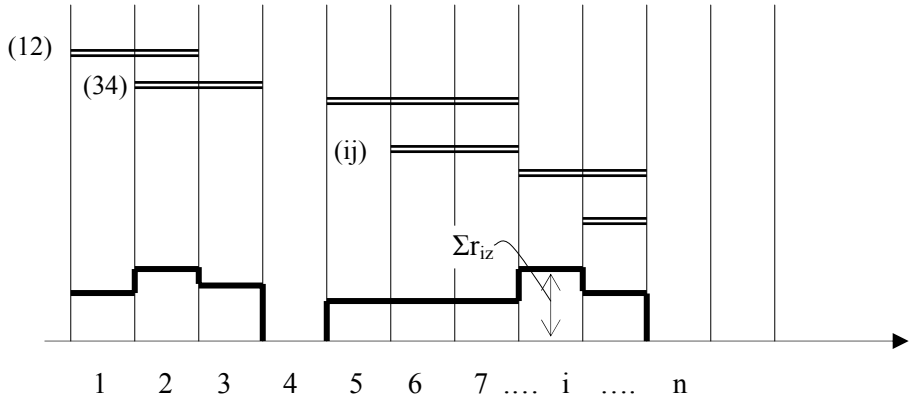


Figura 3.24 Intensitatea zilnică şi profilul resurselor

Cantitatea totală a unei resurse pentru execuția unui proiect de construcție va fi dată de suma intensităților zilnice ale resurselor determinate după un profil al resurselor.

$$R_{Tz} = \Sigma(\Sigma r_{1z}, \Sigma r_{2z}, \ldots, \Sigma r_{iz}, \ldots \Sigma r_{nz}) \qquad (3.32)$$

Programarea cu analiza timpului şi a resurselor presupunem tratarea din două puncte de vedere:

- programarea cu alocarea resursei;
- programarea cu nivelarea resursei.

3.7.3 PROGRAMAREA CU ALOCAREA RESURSELOR

În general programarea unor parametri presupune utilizarea unor procedee ale programării liniare în condițiile în care sunt definite restricțiile dar şi scopul programului. Restricțiile pot decurge din analiza condițiilor de realizare a unui program adică:

- restricții matematice induse de succesiuni rezultate din respectarea relațiilor dintre activități;
- restricții legate de execuția activităților;
- restricții cumulative care decurg din necesitatea ca profilul resurselor să nu depăşească cantitatea disponibilă.

Obiectivul unui program cu alocarea sau cu nivelarea resurselor poate fi reprezentat de durata totală.

Utilizarea programării liniare induce dificultăți legate de rezolvarea matematică şi de aceea sunt preferate procedee care nu ne dau soluția optimă dar care se pot aplica în soluționarea acestor probleme, numite procedee euristice.

Din literatura de specialitate se cunosc următoarele procedee euristice de alocare a resurselor: algoritmul Kelly, algoritmul Wiest, algoritmul Hastings etc.

3.7.3.1 ALGORITMUL KELLY

Este cel mai cunoscut procedea euristic necesitând parcurgerea următoarelor etape:

- rezolvarea problemelor legate de elaborarea programului cu analiza timpului (analiza proiectului, elaborarea graficului rețea, stabilirea duratelor activităților,

calculul elementelor graficului rețea, integrarea sau condensarea graficului, realizarea graficului Gantt);

- trasarea profilului resurse şi analiza încadrării în disponibil;
- dacă nu se realizează încadrarea în disponibil se începe procesul de programare a activităților din prima zi programând fiecare activitate cât mai devreme posibil în limitele disponibilului; dacă o activitate nu se poate programa la termenul calculat din caza depăşirii disponibilului se apelează la amânarea cu o zi şi implicit la amânarea activităților imediat următoare.
- dacă sunt mai multe activități trebuie programate la acelaşi termen se stabilesc priorități şi anume:
  - activități cu rezerva totală cea mai mică;
  - activități inițial critice sau cele care au devenit critice.
- din două sau mai multe activități critice prioritară este cea deja începută, celelalte fiind amânate;
- între două sau mai multe activități cu aceleaşi priorități devine prioritară activitatea cu durata cea mai mică;

Durata totală a programului proiectului de construcție se va modifica în urma aplicării unui astfel de algoritm prin depăşirea duratei inițiale.

Exemplu

Se elaborează un program cu analiza timpului şi resurselor pentru execuția unei canalizări în condițiile respectării restricției privind resursa umană utilizată de M_{disp}= 14 muncitori.

Elementele de calcul ale graficului rețea din figura 3.25 sunt prezentate în tabelul 3.4.

Tabelul 3.4.

Denumire activitate	Cod activitate	Durata (zile)	Număr muncitori
Trasare lucrare	0-1	2	2
Săpătură manuală	1-5	10	10
Sprijinire săpătură	1-2	6	3
Epuizare apă din săpătură	1-3	2	2
Transport pământ	1-4	10	2
Montare conducte	5-7	5	6
Execuție umplutură	4-6	3	4
Execuție cămine de vizitare	7-8	3	6

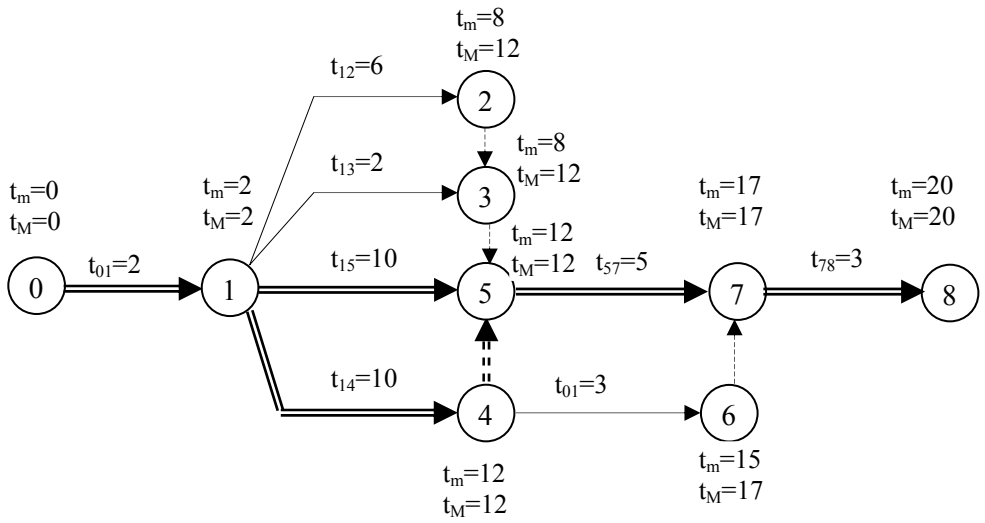


Figura 3.25 Grafic rețea CPM pentru execuția unei rețele de canalizare

Elementele graficului rețea calculate pentru graficul rețea din figura 3.25 sunt date în tabelul 3.5.

Tabelul 3.5. Elemente de calcul ale graficului rețea din figura 3.25

Cod activitate	Durata (zile)	Rezerva totală a activității (zile)	Tip activitate
0-1	2	0	critică
1-5	10	0	critică
1-2	6	4	necritică
1-3	2	8	necritică
1-4	10	0	critică
5-7	5	0	critică
4-6	3	2	necritică
7-8	3	0	critică

Drumul critic este dat de două variante 0-1-5-7-8 şi 0-1-4-5-7-8 ambele având o durată de 20 de zile.

Eşalonarea calendaristică este prezentată în figura 3.26.

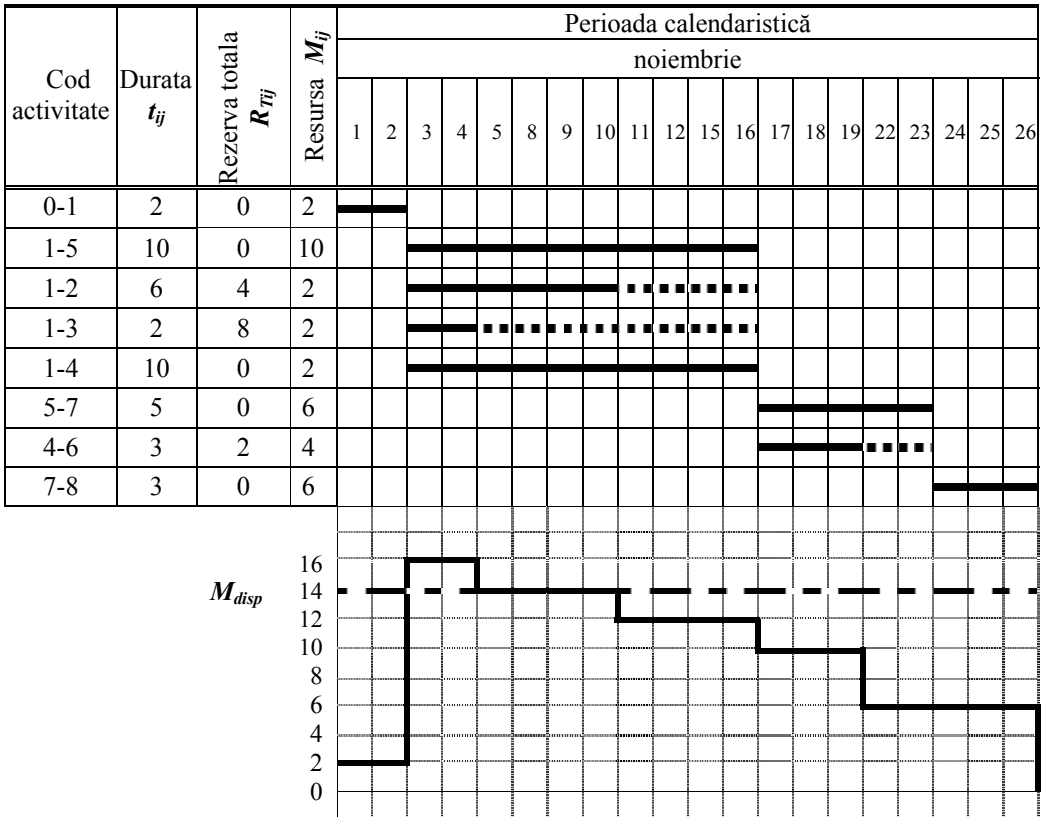


Figura 3.26 Eşalonarea calendaristică şi profilul forţei de muncă necesară execuţiei lucrărilor de construcţie

Din analiza graficului din figura 3.26 se observă că disponibilul de forță de muncă este depăşit în a III-a şi a IV-a zi.

Încadrarea în disponibil se realizează reprogramând activitățile prin analiza în fiecare zi a încadrării în disponibil:

- în primele două zile se execută o singură activitate 0-1, intensitatea maximă a resursei fiind $2 < M_{disp} = 14$;

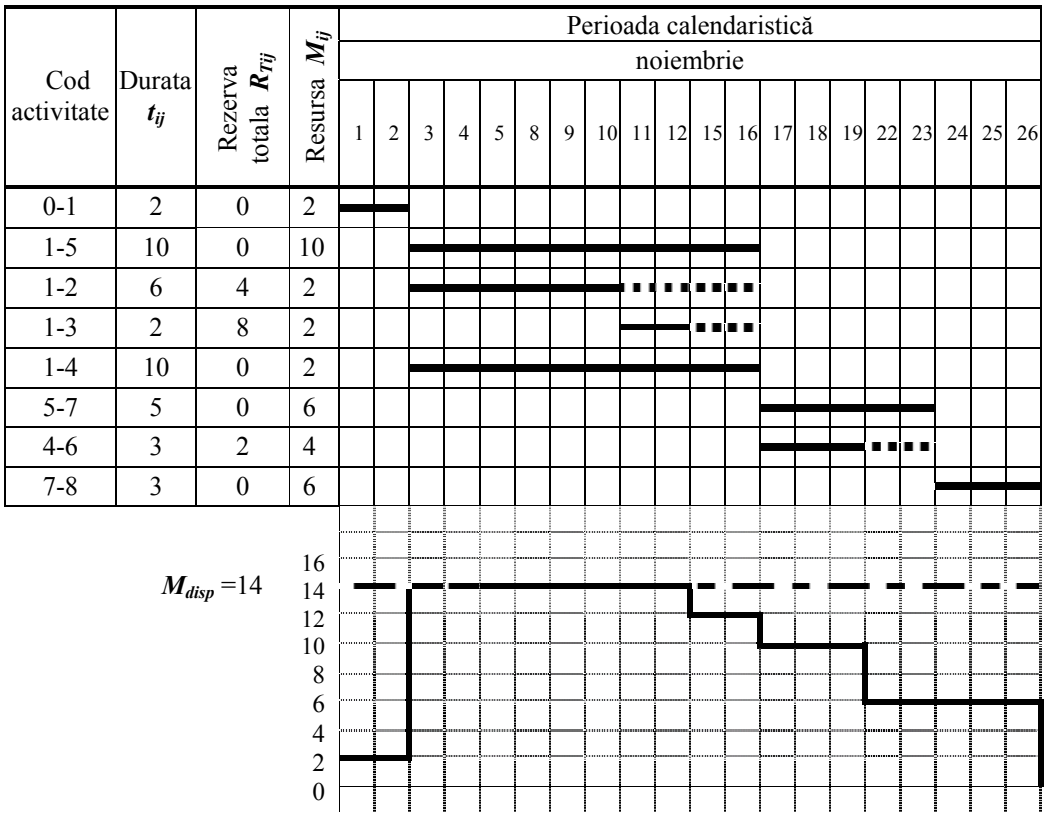


Figura 3.27 Eşalonarea calendaristică şi profilul forţei de muncă necesară execuției lucrărilor de construcție după aplicarea algoritmului Kelly

- în zilele 3 şi 4 se execută patru activități 1-2, 1-3, 1-4 şi 1-5; intensitatea resursei în aceste două zile este 16 depăşind disponibilul; activitățile 1-4 şi 1-5 sunt prioritare pentru că sunt critice; pentru încadrarea în disponibil trebuie amânată execuția activităților 1-2 sau 1-3; prioritară este activitatea 1-2 având rezerva totală cea mai mică deci va avea aceleaşi termene de execuție, aspect corect dacă este analizat din punct de vedere al tehnologiei de execuție fiind prioritară execuția sprijinirilor pentru a nu se surpa pereții săpăturii; activitatea 1-3 trebuie reprogramată imediat după ce se termină activitatea 1-2 reducând astfel rezerva de timp la 2 zile;

- în zilele 5, 6, 7, 8, 9 şi 10 intensitatea resursei este 14 deci se încadrează în disponibil;
- în zilele 11 şi 12 de execuţie intensitatea are valoarea 12 ($M_{1-4} + M_{1-5}$);
- în zilele 13, 14 şi 15 intensitatea este dată de suma resurselor activităţilor 5-7 şi 4-6 având valoarea 10;
- în ultimele 5 zile disponibilul este mai mare decât intensitatea ce are valoarea 6.

Prin aplicarea algoritmului Kelly pentru alocarea resurselor acestui program nu a fost necesară mărirea duratei de execuţie a proiectului pentru încadrarea în disponibil ci doar reprogramarea unei activităţi, soluţia fiind acceptabilă. Eşalonarea calendaristică şi profilul resursei s-a modificat având distribuţia din figura 3.27.

În cazul în care soluţia obţinută este inacceptabilă (durată prea mare, incompatibilităţi tehnologice şi de execuţie etc.) se pot aplica alte procedee sau se pot modifica ipotezele iniţiale (modificarea disponibilului, modificarea duratelor activităţilor sau a graficului reţea etc.).

3.7.4 PROGRAMAREA CU NIVELAREA RESURSELOR

Procedeele de alocare a resurselor rezolvă problema încadrării în disponibil dar nu şi problema apariţiei unor variaţii mari ale consumului de-a lungul duratei de execuţie (figura 3.28a).

Programele de nivelarea a resurselor pot rezolva ambele probleme dar de obicei se consideră că profilul resursei proiectul pentru care se face analiza nivelării se încadrează în disponibil.

Obiectivul metodei este cel de a obţine în final un profil al resursei cât mai uniform situaţia ideală fiind aceea în care intensitatea consumului resursei ar fi constantă pe toată durata execuţiei lucrărilor (figura 3.28b).

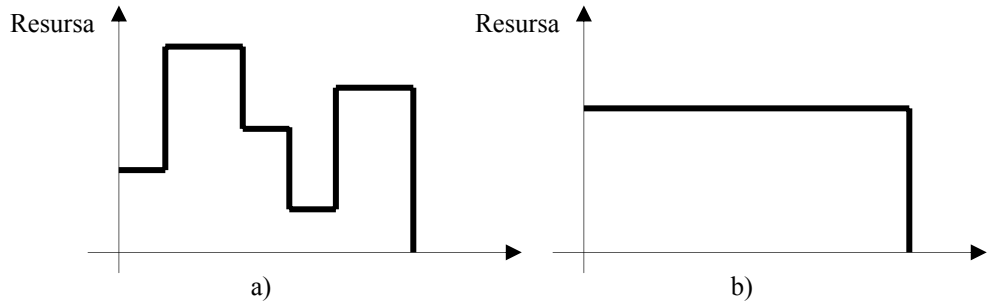


Figura 3.28 Profil al resursei cu a) variații mari ale consumului de-a lungul duratei de execuție, b) cu intensitatea consumului resursei constantă pe toată durata execuției lucrărilor

Criteriul cel mai simplu de utilizat este cel prin care se minimizează suma pătratelor intensităților profilului resursei din cele ***j*** zile de execuție, imaginat de Burgess-Killbrew, adică:

$$\sum_{i=1}^{j}\left(R_i\right)^2 \rightarrow \text{minim} \qquad (3.33)$$

Aplicarea acestor procedee se poate face prin procedee analitice sau euristice. Ca şi în cazul procedeelor cu alocarea resurselor procedeele analitice sunt dificil de rezolvat din punct de vedere matematic şi foarte rigide.

3.7.4.1 PROCEDEUL EURISTIC BURGESS-KILLBREW

Procedeul presupune parcurgerea următoarelor etape:

- elaborarea programului cu analiza timpului pentru obținerea unui program cu termenul cel mai mic (căruia îi corespunde un drum critic);
- elaborarea eşalonării calendaristice respectându-se ordinea de înscriere a activităților şi anume: termenul minim de începere, pentru două sau mai multe activități cu acelaşi termen minim de începere se stabilesc prioritățile: activități

critice, activități cu rezerva totală cea mai mică, activități cu durata cea mai mică;

- se trasează profilul resursei şi se calculează valoarea criteriului Burgess-Killbrew**;**
- se identifică în eşalonarea calendaristică ultima activitate necritică din program şi se deplasează spre dreapta cu câte o zi, în limita rezervei totale de timp;
- se reface profilul resursei pentru fiecare poziție posibilă şi se calculează valoarea criteriului;
- se continuă acelaşi procedeu cu toate activitățile necritice din program după aceleaşi principii până când se epuizează rezerva totală de timp a tuturor activităților;
- din variantele posibile de programe analizate se alege cea care determină valoarea minimă a criteriului.

Este un criteriu util în cazul analizei unei singure resurse în cazul nivelării mai multora preferându-se să se acorde prioritate resursei cele mai importante.

Exemplu

Pentru programul cu analiza timpului şi resurselor date în tabelul 3.5 pentru care s-a stabilit eşalonarea calendaristică şi profilul din figura 3.26 se calculează valoarea criteriului.

$$\sum_{i=1}^{j}\left(R_i\right)^2 = 2\cdot 2^2 + 2\cdot 16^2 + 4\cdot 14^2 + 4\cdot 12^2 + 3\cdot 10^2 + 5\cdot 6^2 = 2360$$

Se identifică ultima activitate necritică din program adică activitatea 4-6 care are o rezervă de timp totală de 2 zile şi un necesar de 4 resurse. Se reface profilul resursei şi se calculează criteriul (figura 3.29).

Cod activitate	Durata t_{ij}	Rezerva totală R_{Tij}	Resursa M_{ij}
0-1	2	0	2
1-5	10	0	10
1-2	6	4	2
1-3	2	8	2
1-4	10	0	2
5-7	5	0	6
4-6	3	2	4
7-8	3	0	6

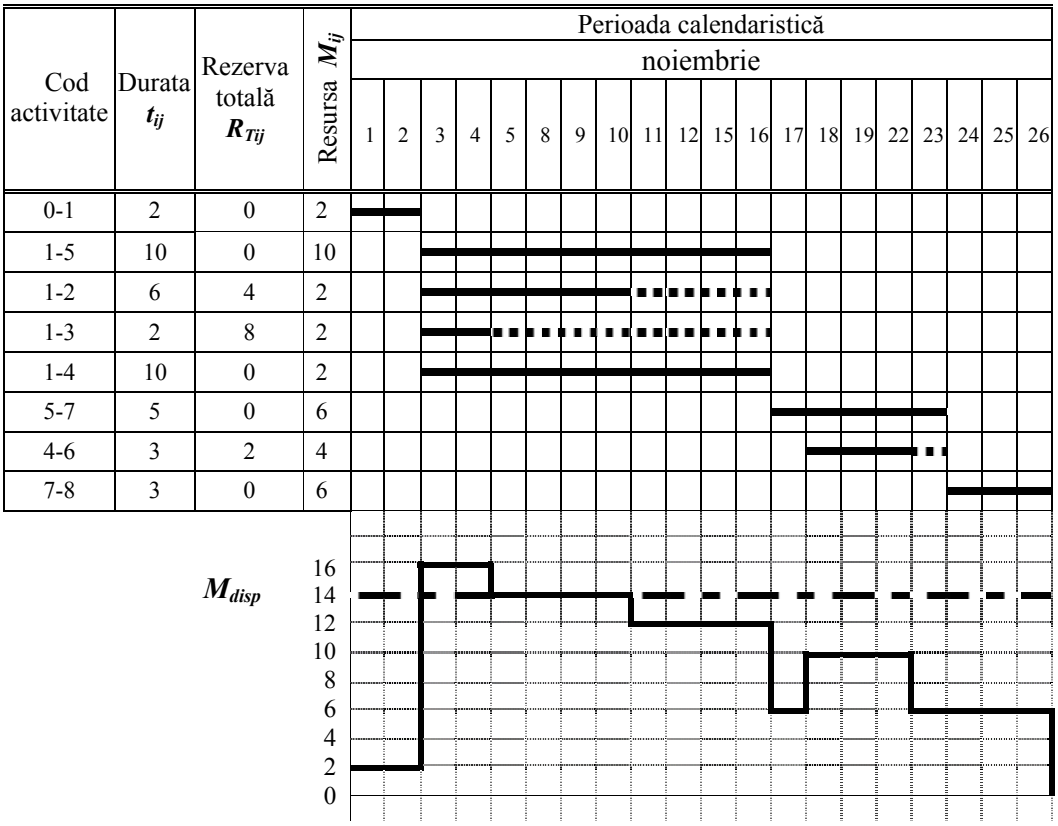


Figura 3.29 Eşalonarea calendaristică şi profilul resursei în a doua variantă de program rezultată din deplasarea şi reprogramarea activității 4-6

Valoarea criteriului în a două variantă de program va fi:

$$\sum_{i=1}^{j}\left(R_i\right)^2 = 2 \cdot 2^2 + 2 \cdot 16^2 + 4 \cdot 14^2 + 4 \cdot 12^2 + 1 \cdot 6^2 + 3 \cdot 10^2 + 4 \cdot 6^2 = 2360$$

Se aplică acelaşi raţionament pentru activităţile 4-6 (o zi rezervă de timp), 1-3 (8 zile rezervă de timp) şi 1-2 (4 zile rezervă de timp). Deci, pentru determinarea variantei optime se analizează 15 variante de program, 14 rezultate din suma rezervelor totale de timp ale activităţilor necritice plus una corespunzând cu varianta iniţială.

Se întocmeşte în final un tabel în care prezentăm elementele de calcul şi valorile criteriului pentru cele 15 variante de program.

Tabelul 3.6

Varianta de program	Intensităţile zilnice ale profilului resurse																				$\sum_{i=1}^{j}\left(R_i\right)^2$
ziua	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	2	2	16	16	14	14	14	14	12	12	12	12	10	10	10	6	6	6	6	6	2360
2	2	2	16	16	14	14	14	14	12	12	12	12	6	10	10	10	6	6	6	6	2360
3	2	2	16	16	14	14	14	14	12	12	12	12	6	6	10	10	10	6	6	6	2360
4	2	2	14	16	16	14	14	14	12	12	12	12	6	6	10	10	10	6	6	6	2360
5	2	2	14	14	16	16	14	14	12	12	12	12	6	6	10	10	10	6	6	6	2360
6	2	2	14	14	14	16	16	14	12	12	12	12	6	6	10	10	10	6	6	6	2360
7	2	2	14	14	14	14	16	16	12	12	12	12	6	6	10	10	10	6	6	6	2360
8	2	2	14	14	14	14	14	16	14	12	12	12	6	6	10	10	10	6	6	6	2352
9	***2***	***2***	***14***	***14***	***14***	***14***	***14***	***14***	***14***	***14***	***12***	***12***	***6***	***6***	***10***	***10***	***10***	***6***	***6***	***6***	***2344***
10	***2***	***2***	***14***	***14***	***14***	***14***	***14***	***14***	***12***	***14***	***14***	***12***	***6***	***6***	***10***	***10***	***10***	***6***	***6***	***6***	***2344***
11	***2***	***2***	***14***	***14***	***14***	***14***	***14***	***14***	***12***	***12***	***14***	***14***	***6***	***6***	***10***	***10***	***10***	***6***	***6***	***6***	***2344***
12	***2***	***2***	***12***	***14***	***14***	***14***	***14***	***14***	***14***	***12***	***14***	***14***	***6***	***6***	***10***	***10***	***10***	***6***	***6***	***6***	***2344***
13	***2***	***2***	***12***	***12***	***14***	***14***	***14***	***14***	***14***	***14***	***14***	***14***	***6***	***6***	***10***	***10***	***10***	***6***	***6***	***6***	***2344***
14	2	2	12	12	12	14	14	14	14	14	16	14	6	6	10	10	10	6	6	6	2352
15	2	2	12	12	12	12	14	14	14	14	16	16	6	6	10	10	10	6	6	6	2352

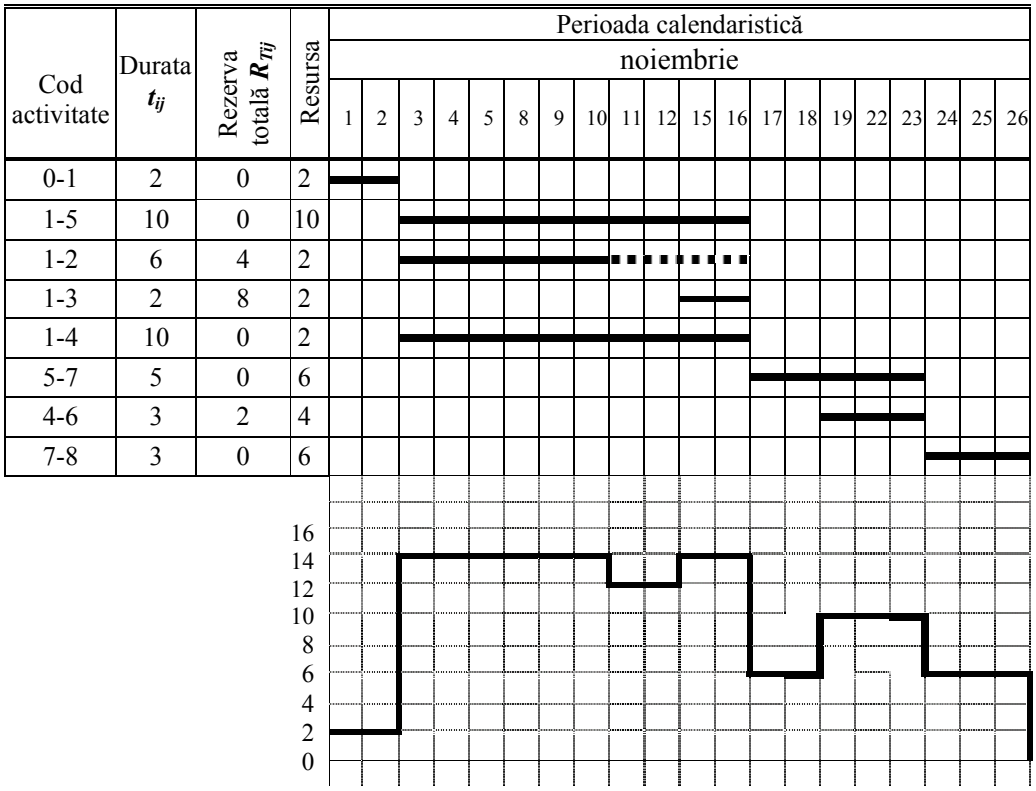


Figura 3.30 Eşalonarea calendaristică şi profilul resursei în varianta optimă de program 11 rezultată din aplicarea criteriului Burgess-Killbrew

În urma aplicării criteriului de nivelare a resurselor s-au identificat variantele 9, 10, 11, 12 şi 13 ca fiind optime având cea mai mică valoare a criteriului adică 2344. Eşalonarea calendaristică şi profilul resursei pentru una din variantele optime vor avea parametrii din figura 3.30 .

Trebuie remarcat faptul că în urma utilizării acestui criteriu de nivelare a resurselor pentru activitățile necritice s-au modificat termenii minimi de începere, lucru posibil datorită faptului ca aceste activități beneficiază de rezerve de timp. Totuşi dacă se ia hotărârea de a utiliza un astfel de criteriu pentru a stabili varianta optimă de administrare a unei resurse trebuie să se analizeze şi detaliile de natură tehnologică pentru a determina viabilitatea variantei.

3.8 PROGRAME CU ANALIZA TIMPULUI, RESURSELOR ŞI COSTULUI

Estimarea duratelor acțiunilor complexe (probleme tip ADC/TIMP) prin metodele expuse anterior, deşi reprezintă o problemă deosebit de importantă din punct de vedere economic, nu este nici pe departe singurul aspect care poate fi urmărit cu ajutorul acestor metode.

O altă problemă în care pot fi utilizate instrumentele ADC sunt cele de analiză a costului execuției acțiunilor complexe, în funcție de durata de execuție a acestora.

Este evident că, în funcție de pregătirea celor care efectuează lucrarea, de tehnologia folosită, etc., durata de execuție a unei acțiuni complexe poate varia, existând totuşi o durată minimă posibilă T_{min} şi una maximă T_{max} acceptabilă.

Durata lucrării are numeroase implicații asupra costului, drept pentru care prezintă un deosebit interes determinarea acelei durate de execuție, intermediare lui T_{min} şi T_{max}, căreia îi corespunde costul minim.

3.8.1 COSTURILE UNEI ACTIVITĂȚI DE CONSTRUCȚIE

Se consideră că o activitate oarecare (***i,j)***, din cadrul unei acțiuni complexe, se poate efectua cu o durată t_{ij} care, din punct de vedere tehnologic, se situează între o limită inferioară D_{min} şi una superioară D_{max} ($D_{min} \le t_{ij} \le D_{max}$).

Este clar că mărimea costului activității (c_{ij}) depinde de durata de execuție a acesteia: $c_{ij} = f(t_{ij})$. Se poate considera ca *durată normală* de execuție a activității durata care corespunde costului minim de execuție. O durată de execuție mai mare decât durata normală este dezavantajoasă atât din punct de vedere al timpului cât şi al costului, astfel încât durata normală va fi şi durata maximă acceptabilă de execuție D_{max}. O durată mai scurtă de execuție va costa mai mult din cauza eforturilor de urgentare (efectuarea de ore suplimentare care sunt plătite mai scump, aplicarea unor tehnologii mai costisitoare, folosirea unor substanțe mai scumpe etc.), dar activitatea se va termina mai repede, cu beneficiile corespunzătoare. Dependența funcțională între c_{ij} şi t_{ij} poate fi foarte complexă, însă ea poate fi aproximată cu o funcție liniară. S-a observat de asemenea că, în general, costul este descrescător în funcție de durată pe intervalul (D_{min}, D_{max}). Ținând cont de toate acestea, rezultă că graficul lui $c_{ij} = f(t_{ij})$ este o dreaptă (figura 3.31).

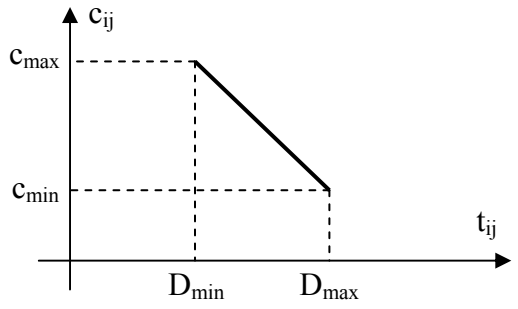


Figura 3.31 Dependența dintre durata şi costul execuției unei activități de construcție

Ipoteza liniarității costului arată, că urgentarea execuției depinde liniar de costul urgentării, indiferent de ce zi din programul execuției proiectului este vorba. Acest cost este costul unitar al urgentării şi se calculează cu formula:

$$c_u = \frac{c_{max} - c_{min}}{D_{max} - D_{min}} \qquad (3.34\ )$$

şi cu ajutorul lui se poate calcula foarte uşor costul oricărei durate intermediare lui D_{min} şi D_{max}, cu una din formulele:

$$c(t_{ij}) = c_{min} + c_u \cdot (t_{ij} - D_{min}) \qquad (3.35)$$

sau

$$c(t_{ij}) = c_{max} - c_u \cdot (D_{max} - t_{ij}) \qquad (3.36)$$

3.8.2 COSTUL TOTAL AL EXECUȚIEI UNUI PROIECT DE CONSTRUCȚIE

Costul total al execuției unui proiect de construcție are o structură identică cu cel al unei investiții, fiind format din:

- costuri directe (C_D) - legate nemijlocit de realizarea activităților (*costul resurselor, manoperei, utilajului, materialelor etc.);*
- costuri indirecte (C_I) - cheltuieli generale, salariile, cheltuieli de regie, etc.;
- costul imobilizării fondurilor C_{IF} - pe perioada când investiția nu intră în funcțiune.

Dintre aceste costuri, costurile directe se calculează pentru fiecare activitate în parte, depind de durata de execuție a fiecărei activități şi vor face obiectul analizei cost-durată, iar ultimele două reprezintă cheltuieli globale ale proiectului şi depind doar de durata totală a proiectului.

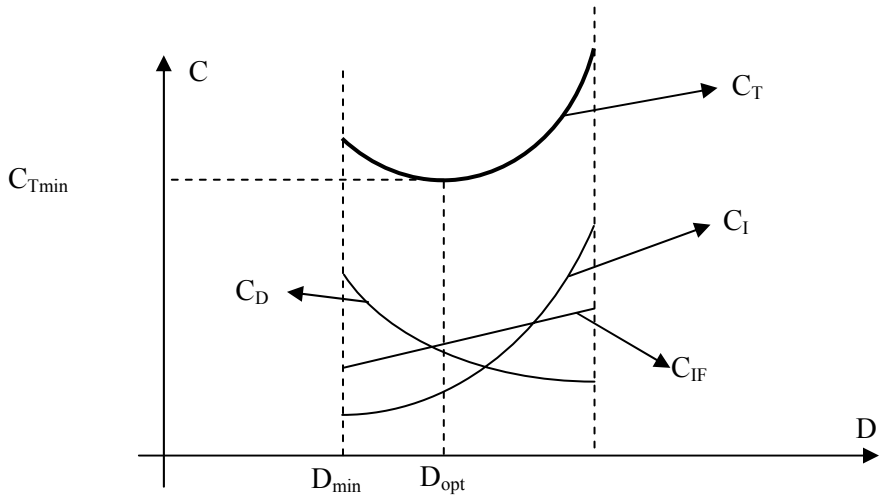


Figura 3.32 Graficului dependenței dintre C_D, C_I şi C_{IF}

Toate aceste costuri sunt evident, funcție de durata de execuție a investiției. În figura 3.32 se reprezintă forma generală a graficului funcțiilor C_D, C_I, C_{IF}, în care D reprezintă durata totală a investiției.

Curba C_T reprezintă graficul funcției – sumă a celor trei funcții luate în considerare iar pe grafic se poate determina durata optimă de execuție al proiectului de construcție (D_{opt}) corespunzător costului total minim (C_{Tmin}).

În practică, C_I şi C_{IF} se calculează la nivel contabil şi nu pun probleme deosebite de calcul, iar C_D se găseşte în urma unei analize cost-durată. $C_D(t)$ reprezintă costul direct minim cu care se poate obține o durată $D \in [D_{min}, D_{max}]$ de execuție a întregului proiect. Aflarea funcției $C_D(t)$ presupune aflarea valorilor costului direct pentru orice durată de efectuare a proiectului, ceea ce în cazul discret presupune un volum de calcule imens iar în cazul continuu este imposibil. De aceea, se calculează de fapt doar un număr suficient de valori, celelalte obținându-se prin interpolarea acestora. Graficul lui C_T are forma aproximativă a unei parabole, deci numărul minim de valori pentru găsirea acesteia este 3, din care două sunt calculate pentru D_{min} şi D_{max}, acestea fiind cele mai importante.

3.9 ELEMENTE DE ANALIZĂ A EFICIENȚEI PRIVIND ORGANIZAREA EXECUȚIEI LUCRĂRILOR DE CONSTRUCȚII

Se consideră datele din tabelul 3.7 privind execuția unei lucrări de construcții hidrotehnice. Se va pune problema determinării timpului probabil-efectiv de terminare a proiectului şi costul realizării acestuia în regim normal pentru toate activitățile, timpul probabil de terminare a proiectului şi costul realizării acestuia în regim de urgență pentru toate activitățile, costul total necesar pentru urgentarea tuturor activităților din regimul normal în regim de urgență, planul cu cel mai redus cost pentru regimul de urgență şi cel mai redus cost în cazul unui regim intermediar pentru care timpul de terminare a proiectului este de 17 săptămâni.

Tabelul 3.7

Activitatea	Regim de urgență		Regim normal	
	Timp, t_a (săptămâni)	Cost, c_u (mil. lei)	Timp, t_n (săptămâni)	Cost, c_n (mil. lei)
1-2	3	6	5	4
1-3	1	5	5	3
2-4	5	7	10	4
3-4	2	6	7	4
2-6	2	5	6	3
4-6	5	9	11	6
4-5	4	6	6	3
6-7	1	4	5	2
5-7	1	5	4	2

Pentru regimul normal de lucru dacă se lucrează manual se obține diagrama PERT din figura 3.33 dar şi cu programul Microsoft Project obținând diagrama Gantt din figura 3.34 şi graficul din figura 3.35.

Timpul de determinare a proiectului de construcție este de 31 săptămâni, iar drumul critic este 1-2-4-6-7. Costul total al proiectului se obține prin însumarea costului tuturor activităților ce-l compun, adică 31 mil. lei.

Programul *Microsoft Project* poate calcul costul proiectului astfel:

- se selectează din imaginea *Gantt Chart* comanda *View*, apoi *Table* şi *Cost* şi se introduce costul fiecărei activităţi în coloana *Fixed Costs*.

- se selectează din meniul *Project* comanda *Project Information* şi apoi *Statistics* unde vedem costurile curente de 31 mil. lei şi durata de 31 de săptămâni, calculate manual.

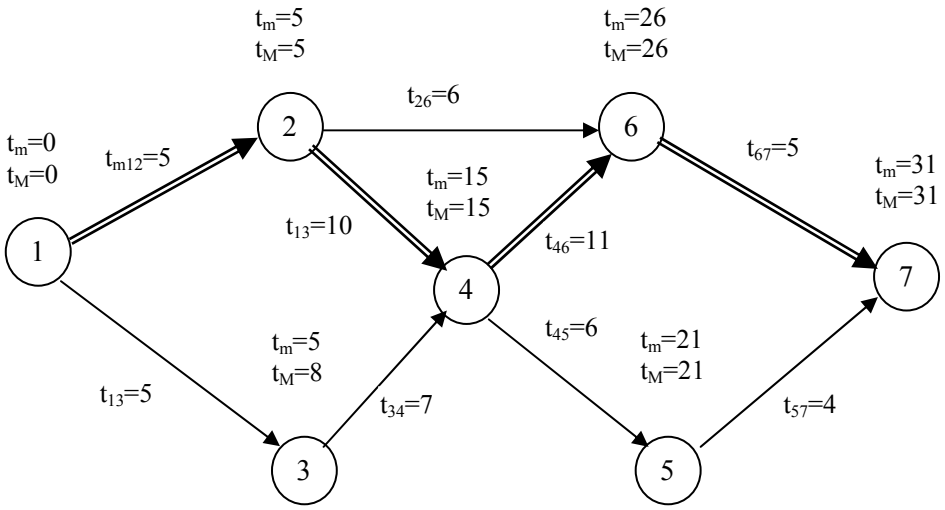


Figura 3.33 Reţeaua MCP (PERT) reprezentată prin arce în regim normal de execuţie; t_{ij} - durata activităţii; t_m, termenul minim de începere/terminare a activităţii (***i,j***); t_M termenul minim de începere/terminare a activităţii (***i,j***).

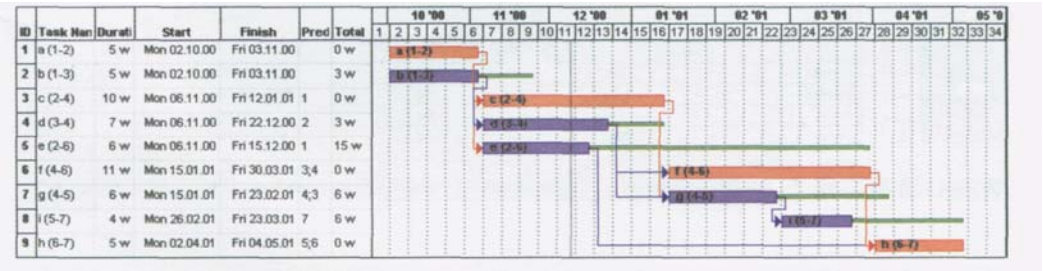


Figura 3.34 Graficul Gantt obţinut cu programul Microsoft Project pentru regimul normal

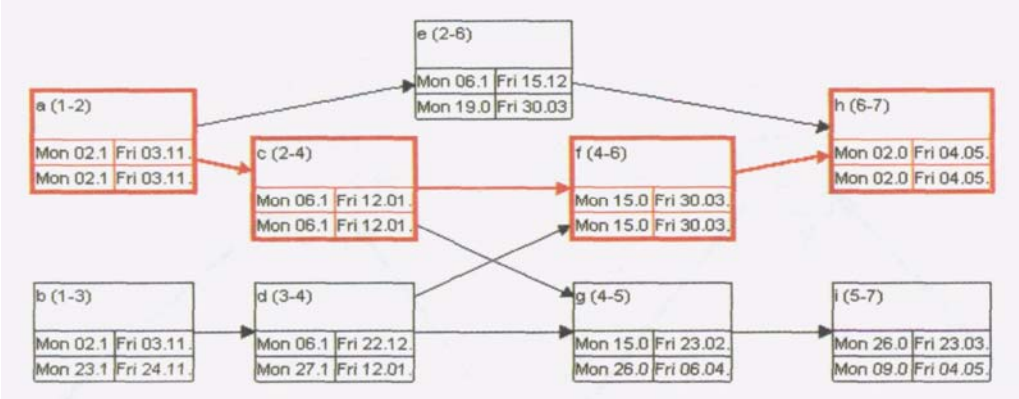


Figura 3.35 Diagrama PERT obținută cu ajutorul programului Microsoft Project în regim normal

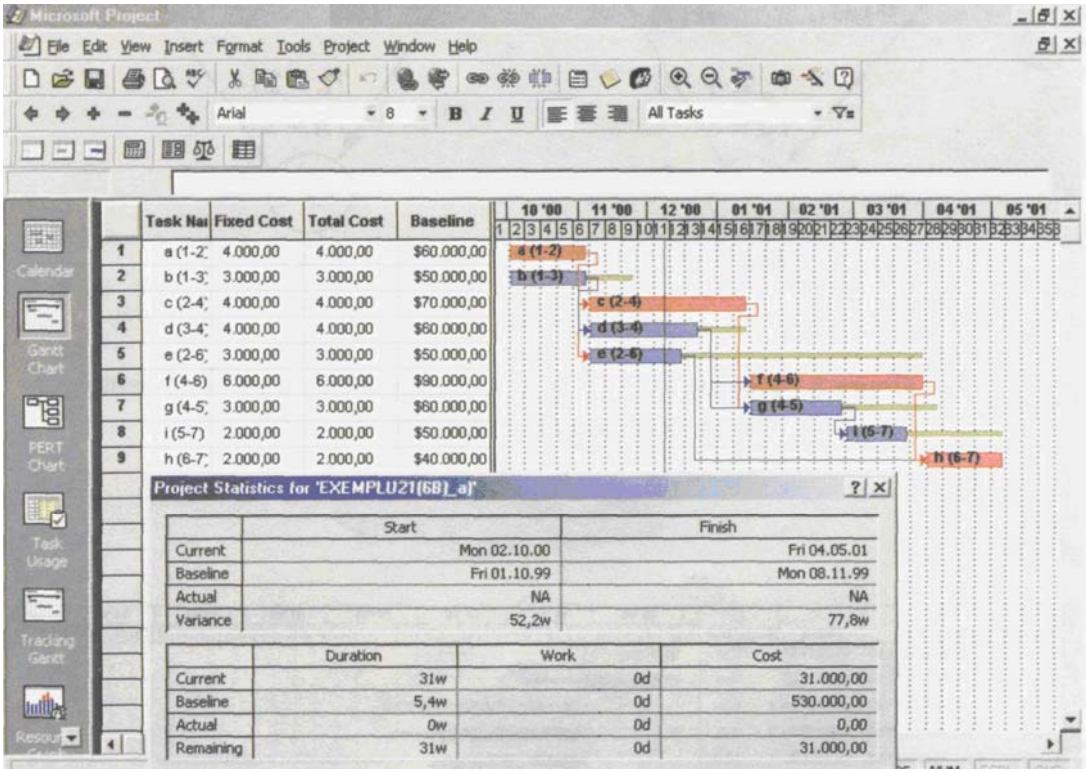


Figura 3.36 Afişarea duratei şi costului total al proiectului cu ajutorul programului Microsoft Project în regim normal

Dacă procedăm în acelaşi mod pentru cazul de urgență se obțin aceleaşi grafice rețea şi grafice Gantt.

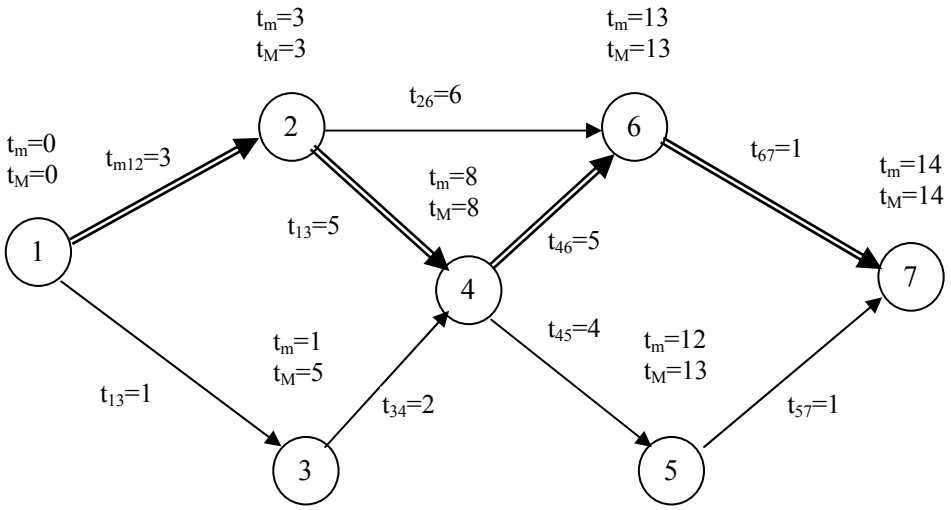


Figura 3.37 Rețeaua MCP (PERT) reprezentată prin arce în regim de urgență de execuție

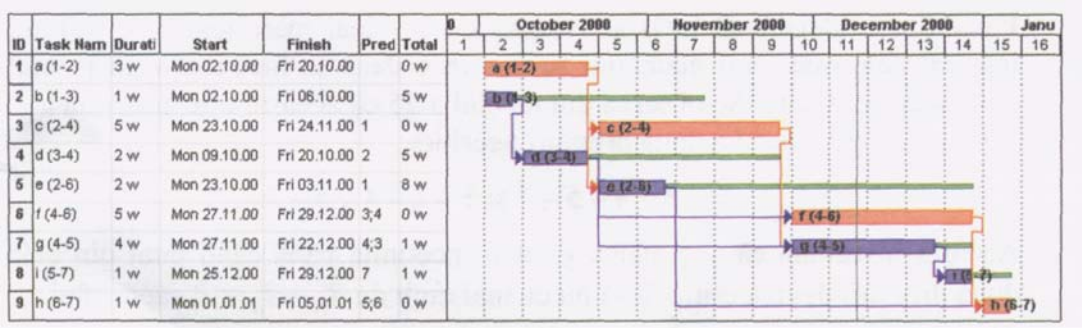


Figura 3.38 Graficul Gantt obținut cu programul *Microsoft Project* pentru regimul de urgență

Drumul critic este 1-2-4-6-7 iar timpul minim de terminare a proiectului este de 14 săptămâni. Costul total al proiectului se obține direct cu *Microsoft Project* sau prin însumarea costurilor activităților care-l compun, rezultând astfel suma de 53 mil. lei.

Costul urgentării tuturor activităților de la regim normal la regim de urgență este:

$$c_u = c_{pu} - c_{pn} = 53 \text{ mil.lei} - 31 \text{ mil.lei} = 22 \text{ mil. lei}$$

pentru o perioadă de 17 săptămâni.

Cel mai puțin costisitor plan de execuție în regim de urgență în ipoteza reducerii costurilor se obține dacă se încearcă mărirea duratei activităților necritice.

Etapele care trebuie urmate sunt:

- se identifică activitățile necritice din proiect şi se determină pantele costurilor corespunzătoare (tabelul 3.8).

Tabelul 3.8

Cod activitate	Panta costurilor $pc = \frac{cu - cn}{tn - tu}$ (*mil.lei/ săptămână*)
1-3	0,5
3-4	0,4
2-6	0,5
4-5	1,5
5-7	1,0

- se alege activitatea cu cea mai mare pantă a costului care trebuie să aibă prioritate în optimizarea costurilor; această activitatea se găseşte pe traseul a două drumuri necritice 1-3-4-5-7 şi 1-2-4-5-7.

- această activitate trebuie reprogramată până când unul din cele două drumuri critice devine critic dar nu mai mult cu $t_n - t_u = 2$ săptămâni.

- timpii de execuție pentru cele două drumuri sunt:

$$T_{1\text{-}3\text{-}4\text{-}5\text{-}7} = 8 \text{ săptămâni}$$

$$T_{1\text{-}2\text{-}4\text{-}5\text{-}7} = 13 \text{ săptămâni}$$

Pentru ca drumul 1-3-4-5-7 să atingă durata drumului critic 1-2-4-6-7 de 14 săptămâni ar trebui ca activitatea 4-5 să fie executată în şase săptămâni dar este posibilă modificarea duratei doar în limita celor două săptămâni. De aceea, drumul se poate mări până la 10 săptămâni insuficient pentru a deveni critic.

Pentru ca drumul 1-2-4-5-7 să devină critic cu durata drumului 1-2-4-6-7 de 14 săptămâni trebuie ca activitatea 4-5 să se modifice doar cu o zi ajungând astfel la durata drumului critic de 14 săptămâni. Această variantă este posibilă. Reducerea costului prin întârzierea activității 4-5 cu o săptămână va fi de 1,5 mil.lei. Astfel se obține un drum critic suplimentar 1-2-4-5-7 (figura 3.39).

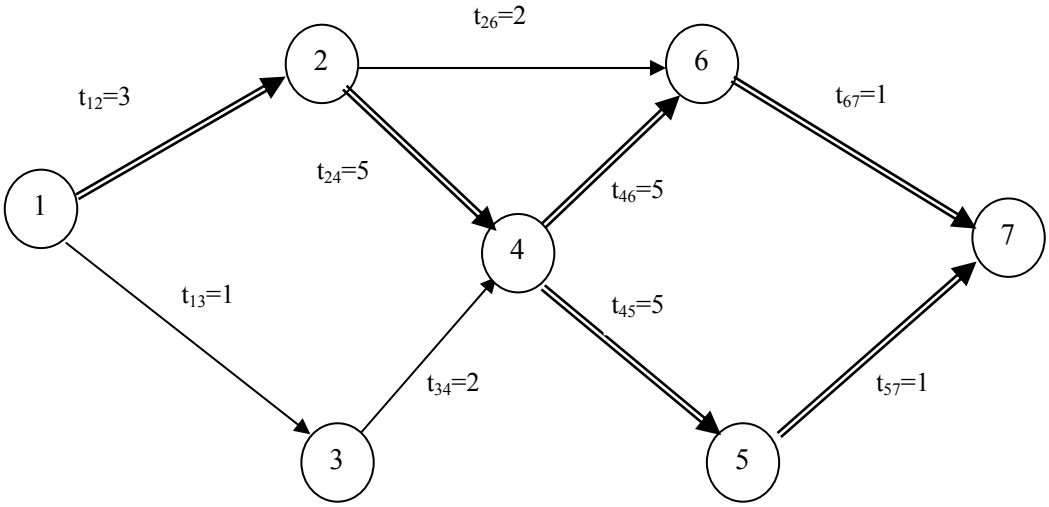


Figura 3.39 Traseul drumului critic suplimentar 1-2-4-5-7

- se trece la următoarea activitate necritică şi costisitoare ce se poate încetini pentru reducerea costului adică, activitatea 1-3 sau 2-6.

$$T_{1\text{-}3\text{-}4\text{-}5\text{-}7} = T_{1\text{-}2\text{-}4\text{-}6\text{-}7} = 9 \text{ săptămâni}$$

În acest fel activitatea 1-3 se poate încetini cu 14 - 9 = 5 săptămâni dar nu poate fi încetinită cu mai mult de $t_n - t_u$ = 4 săptămâni. Această întârziere aduce o economie de: 4 săptămâni · 0,5 = 2 mil. lei.

- se consideră activitatea 2 - 6 şi drumul cu durata

$$T_{1\text{-}3\text{-}6\text{-}7} = 6 \text{ săptămâni}$$

Această activitatea poate fi încetinită cu 14 – 6 = 8 săptămâni dacă nu ar exista limita de 4 săptămâni. Activitatea rămâne necritică iar economia este de: 4 · 0,5 = 2 mil.lei. Graficul are aceeaşi structură ca în cazul anterior (figura 3.40).

- ultima activitate necritică din program care se poate analiza este activitatea 3-4. Durata drumului care include această activitatea este

$$T_{1\text{-}3\text{-}4\text{-}5\text{-}7} = T_{1\text{-}2\text{-}4\text{-}6\text{-}7} = 13 \text{ săptămâni}$$

Această activitatea poate fi încetinită cu o săptămână, devenind critică şi obținând astfel o economie de: 1 · 0,4 = 0,4 mil. lei (figura 3.40).

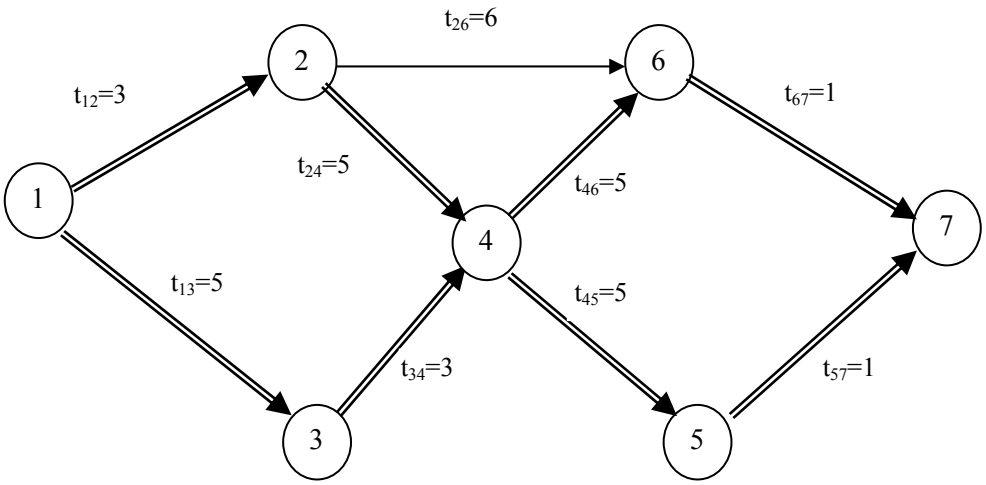


Figura 3.40 Graficul rețea în varianta drumului critic suplimentar 1-3-4-5-7

Efectuarea proiectului în regim de urgență de 14 săptămâni prin încetinirea activităților necritice la maximum s-a obținut o economie de 5,9 mil.lei.

Astfel costul total al proiectului devine cu 53 – 5,9 = 47,1 mil. lei.

În acest mod se pot analiza şi alte situații pentru durate diferite de execuție a proiectului de construcții.

4. ELEMENTE DE ORGANIZARE A ŞANTIERELOR DE CONSTRUCŢII HIDROTEHNICE

4.1. ORGANIZAREA ŞANTIERELOR DE CONSTRUCŢII HIDROTEHNICE

Executarea lucrărilor de construcţii este o activitate foarte complexă. Dacă lucrările de construcţii executate pe baza unui proiect de construcţii sunt lucrări definitive, lucrările de organizare de şantier au caracter provizoriu, cu o durată limitată de funcţionare pe un amplasament care serveşte şi ajută la execuţia lucrărilor definitive, cum ar fi barajele, centralele hidroelectrice, hidrocentralele etc. Lucrările de organizare de şantier reprezintă totalitatea amenajărilor, a construcţiilor, a instalaţiilor, a obiectelor şi a cheltuielilor necesare creării condiţiilor pentru folosirea eficientă a fondurilor fixe din dotarea unităţilor de construcţii-montaj şi pentru desfăşurarea activităţii acestora în scopul realizării la termen a lucrărilor programate.

Lucrările de organizare a şantierului au o durată de amplasare de ordinul anilor sau a zecilor de ani şi deservesc execuţia lucrărilor definitive până la punerea în funcţiune a acestora. Ca pondere în cheltuielile totale lucrările de organizare de şantier pot ajunge până la 20% din valoarea totală a unei amenajări hidrotehnice de tipul A.H.E. Poiana Teiului – Neamţ sau a celor efectuate înainte de anii 1990 pe râurile Olt, Lotru, Bistriţa, Buzău, Dunăre etc. Aceste lucrări necesită o gamă foarte variată de materiale şi un personal cu calificare adecvată [Hidroconstrucţia, 1988].

Amplasamentul organizării de şantier se alege în imediata apropiere a lucrărilor de bază (dacă zona de execuţie a lucrărilor o permite). Sunt şi situaţii caracteristice lucrărilor hidrotehnice când organizarea de şantier este amplasată

la o anumită distanță de lucrările de bază, condiționată fiind de relief, natura terenului sau de diferite elemente tehnice şi economice.

4.2. PROIECTUL DE ORGANIZARE DE ŞANTIER

Proiectul de organizare de şantier este o documentație care cuprinde lucrările necesare organizării unui şantier şi anume: lucrări tehnologice, lucrări de natură social-administrativă, lucrări de instalații etc. Acest proiect asigură condițiile necesare execuției unei lucrări de construcție.

Proiectul este compus din următoarele elemente :

- memoriu tehnic: descrierea lucrărilor de construcție cu caracteristicile tehnico-economice ale acestora: zona de amplasare, geologia, relieful zonei, tehnologiile de execuție principale;
- planul de situație al construcției care cuprinde amplasarea tuturor lucrărilor de organizare tehnologică şi social-administrativă, drumurile de acces, rețelele de alimentare cu energie electrică; se pot prezenta şi elemente privind protecția împotriva inundațiilor şi zonele de inundabilitate etc.;
- schema de organizare a trustului de construcție care va executa construcția;
- graficul de execuție a lucrărilor ce cuprinde eşalonarea temporală şi valorică pentru toate construcțiile ce se vor executa (lucrări de bază şi de organizare); lucrările trebuie programate pe obiecte şi pe fiecare executant în parte;
- eşalonarea indicatorilor economici pe toată durata de execuție a construcției: structura forței de muncă, planificări privind realizarea lucrărilor, cheltuielile planificate etc.;
- grafice privind resursa umană necesară executării lucrărilor: numărul muncitorilor implicați direct în execuția construcțiilor (detalii privind încadrarea lor în familişti, nefamilişti, navetişti, localnici, nelocalnici etc.), personalul implicat în activități de transporturi, activități de montaj, personal

TESA, ingineri, tehnicieni, economişti, personal administrativ, personal medical etc.;

- evaluarea lucrărilor de organizare cu denumirea şi valoarea fiecăruia;
- proiectele de organizare de şantier pe obiecte şi părţi de obiecte cuprinzând: proiectele pentru drumuri, linii electrice, staţii de betoane şi mortare, gospodăria de agregate, ateliere de armături etc.; fiecare proiecte trebuie să fie însoţit de note de calcul, planşe, devize pe categorii de lucrări, antemăsurători, memorii justificative etc. [Simionescu Al., 1986].

Proiectarea, amplasarea şi execuţia lucrărilor de organizare de şantier depind de:

- caracteristicile tehnice şi financiare ale lucrărilor de bază;
- tehnologia de execuţie a lucrărilor de bază;
- relieful în zona amplasamentului şantierului;
- distanţele faţă de localităţile cele mai apropiate;
- distanţele dintre zonele de bază ale şantierului (de exemplu, distanţa de la staţia de betoane şi mortare şi locul de punere în operă, distanţa de la cariera de anrocamente şi amplasamentul corpului barajului etc.);
- suprafaţa ocupată de şantier;
- drumurile de acces între diferitele zone de lucru ;
- căile de comunicaţie deja existente ;
- existenţa sau neexistenţa reţelelor de transport a energiei electrice;
- situaţia legată de utilităţi: alimentări cu apă, canalizări etc.;
- existenţa şi distanţa faţă de unele utilităţi administrative: şcoli, magazine, depozite, comune, oraşe;
- existenţa altor construcţii;
- resursele de materiale: balast, argilă, anrocamente, material lemnos etc.;
- resursa umană potenţială pentru organizarea execuţiei lucrărilor de bază şi a celor provizorii.

Toate elementele prezentate anterior sunt importante în proiectarea lucrărilor de organizare de şantier şi nu trebuie uitat faptul că aceste lucrări trebuie executate înainte de începerea lucrărilor de bază.

Există lucrări de organizare de şantier care au caracter general şi care pot deservi lucrările de bază ca structură şi ca tehnologie şi anume:

- drumuri de acces;
- reţelele electrice şi posturile de transformate a energiei electrice;
- fabrici de betoane şi mortare;
- reţele de alimentare cu apă, captări ale apei de suprafaţă sau subterane;
- depozitele de materiale şi carburanţi;
- centrale termice şi reţele de distribuţie;
- colonia pentru cazarea personalului de execuţie şi construcţiile cu caracter social şi administrativ.

De exemplu, un drum de acces poate deservi atât un baraj, cât şi o galerie de aducţiune, o reţea electrică poate alimenta cu energie electrică o balastieră, o colonie dar şi lucrările de bază cum ar fi excavaţiile dintr-o galerie de aducţiune sau lucrările de suprafaţă aferente.

Există şi lucrări care pot folosi doar lucrărilor de bază cum ar fi:

- sistemele de transport cu macarale (macarale turn sau funicular);
- staţiile de sortare a agregatelor;
- liniile de cale ferată pentru transportul de suprafaţă şi în subteran etc.

Ca o concluzie se poate spune că lucrările de organizare de şantier se pot împărţi în două categorii:

- lucrări pentru organizarea generală a şantierelor de construcţii, care se folosesc la execuţia lucrărilor de bază;
- lucrări de organizare specifice ce folosesc numai la execuţia anumitor lucrări de bază [Simionescu Al., 1986].

Lucrările de organizare specifice construcțiilor hidrotehnice se pot împărți astfel:

- lucrări de organizare specifice subterane;
- lucrări de organizare specifice de suprafață.

Trebuie amintite şi următoarele elemente specifice şantierelor de construcţii şi în special celor de construcţii hidrotehnice:

- punctul de lucru unde se execută o parte din obiectul de construcție: frontul unei galerii, un baraj, captarea apei unui sistem de distribuție a apei etc.;
- şantierul format din mai multe puncte de lucru ;
- mai multe şantiere ce execută lucrările dintr-o zonă formează o antrepriză de construcții sau un trust de construcții.

În figurile 4.1 şi 4.2 sunt prezentate elemente privind organizarea de şantier de la amenajarea hidroenergetică Porțile de Fier II şi modul în care au fost dispuse lucrările de bază şi lucrările auxiliare: construcțiile social-administrative definitive, poziționarea stației trafo de 110 kV, liniile de transport a energiei electrice, depozitele de materiale, atelierele centralizate etc.

Un alt exemplu de lucrare hidrotehnică cu organizare de şantier specifică este amenajarea hidrotehnică Drăgan (Cluj). Barajul de beton în arc este construit pentru utilizarea potențialului râurilor Drăgan, Iad şi Secueu cei mai importanți afluenți ai râului Crişu Repede. Organizarea de şantier cuprinde elemente specifice lucrărilor de betonare a ploturilor barajului şi în special lucrări de transport al betonului cu ajutorul macaralelor funicular de la fabrică la locul de punere în operă (figura 4.3).

Lucrările de exploatare a agregatelor necesare preparării betoanelor şi mortarelor presupun identificarea sursei (agregate de râu exploatate în balastiere sau agregate de concasaj extrase din cariere).

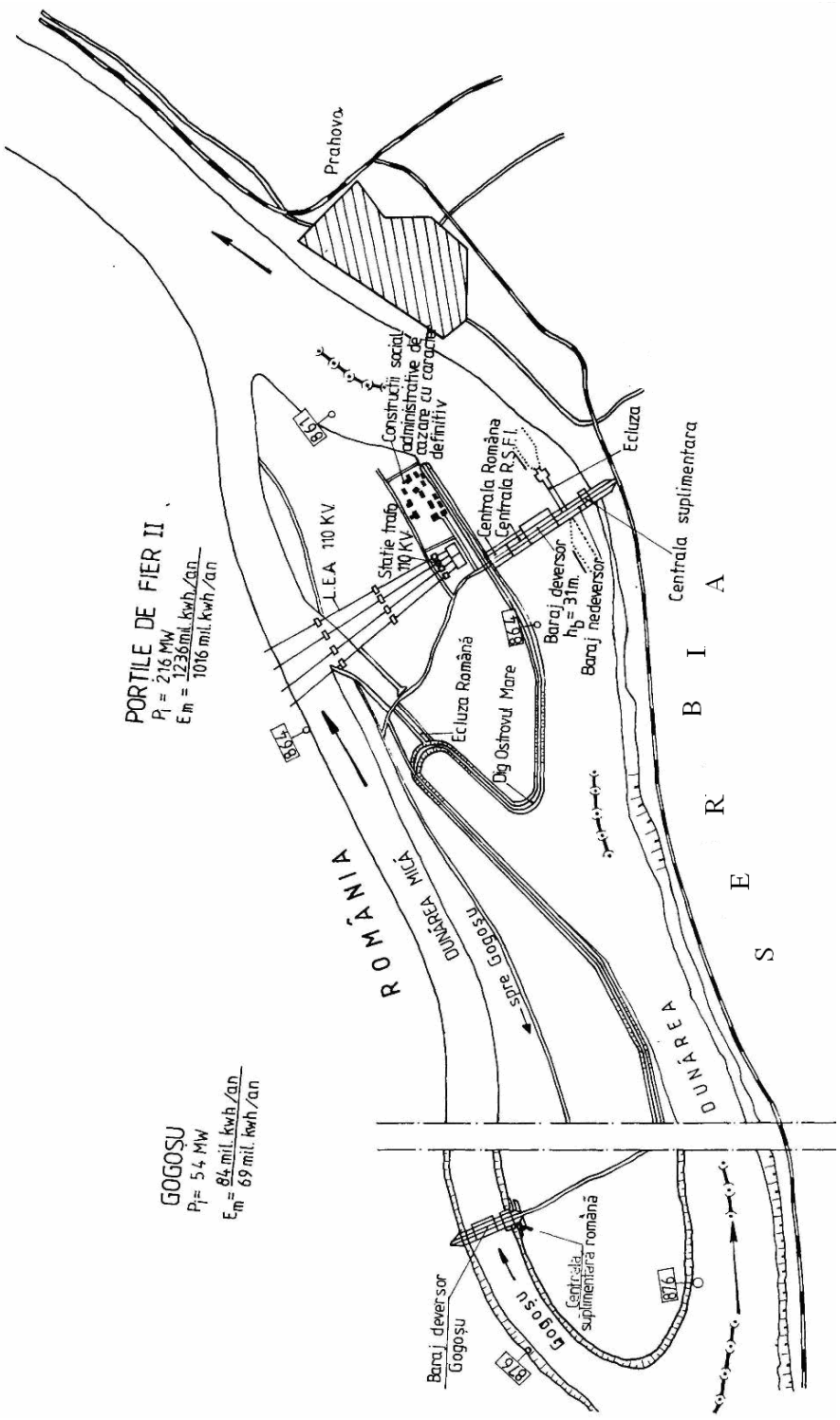


Figura 4.1 Barajul Porțile de Fier II, plan de situație

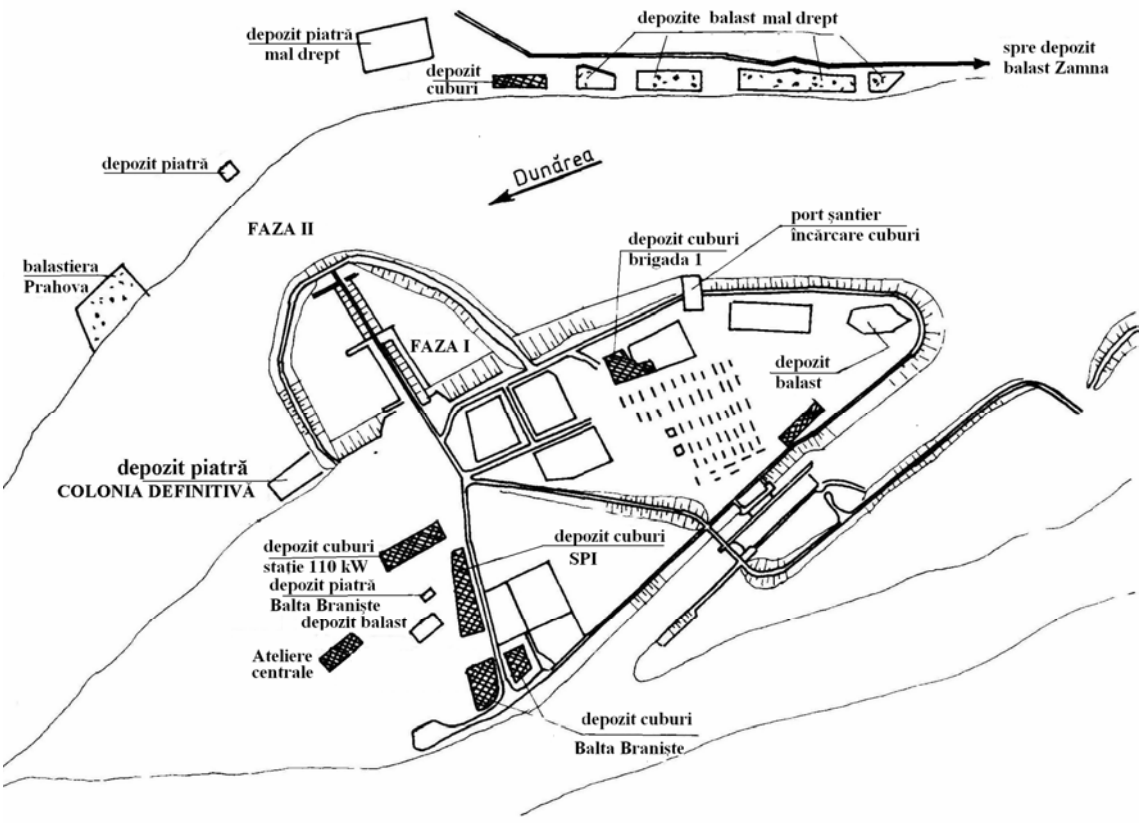


Figura 4.2 Organizarea şantierului la amenajarea Porțile de Fier II

La amplasarea unei balastiere trebuie să se țină seama de câteva condiții cum ar fi: distanța de la balastieră până la şantierul unde se vor folosi agregatele, volumele de agregate produse prin sortare sau concasaj, conținutul în corpuri străine, lemne, humus etc., adâncimea de exploatare să corespundă cu utilajele disponibile, existența drumurilor de acces de la şantier la balastieră, zona să nu fie expusă riscului de inundații, volumul potențial exploatabil să acopere necesarul de agregate al şantierului etc.

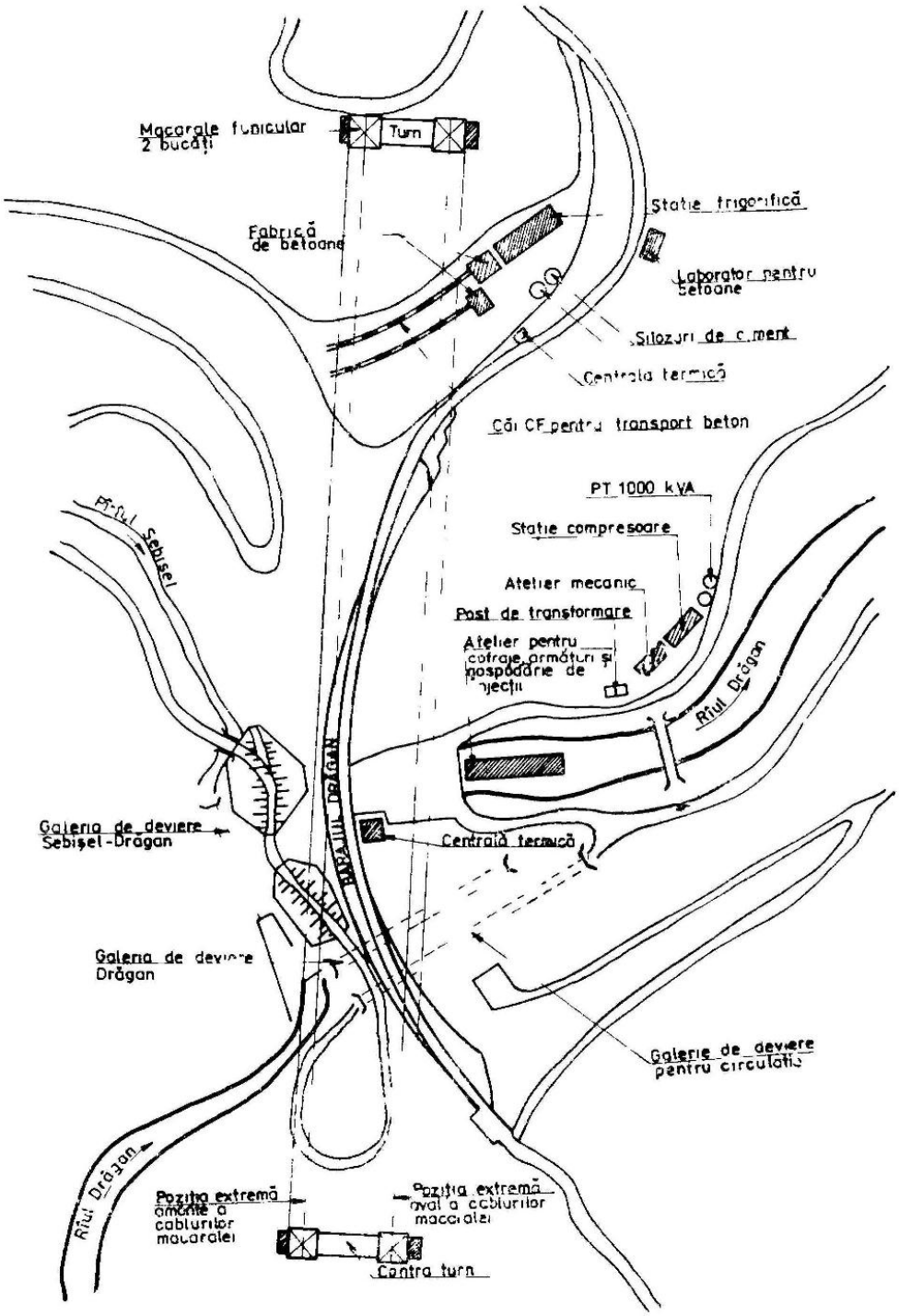


Figura 4.3 Organizarea şantierului barajului Drăgan

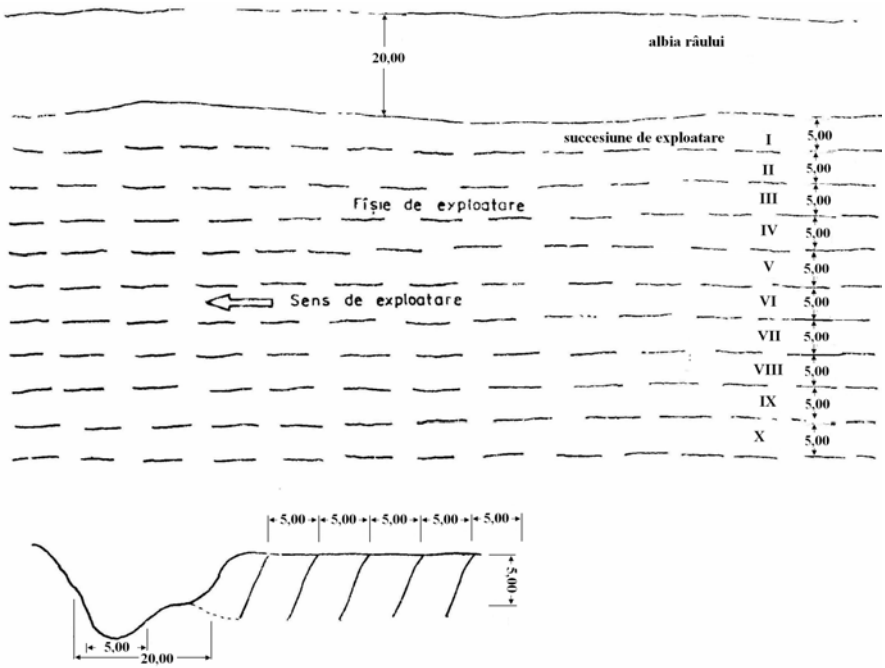


Figura 4.4 Organizarea exploatării unei balastiere

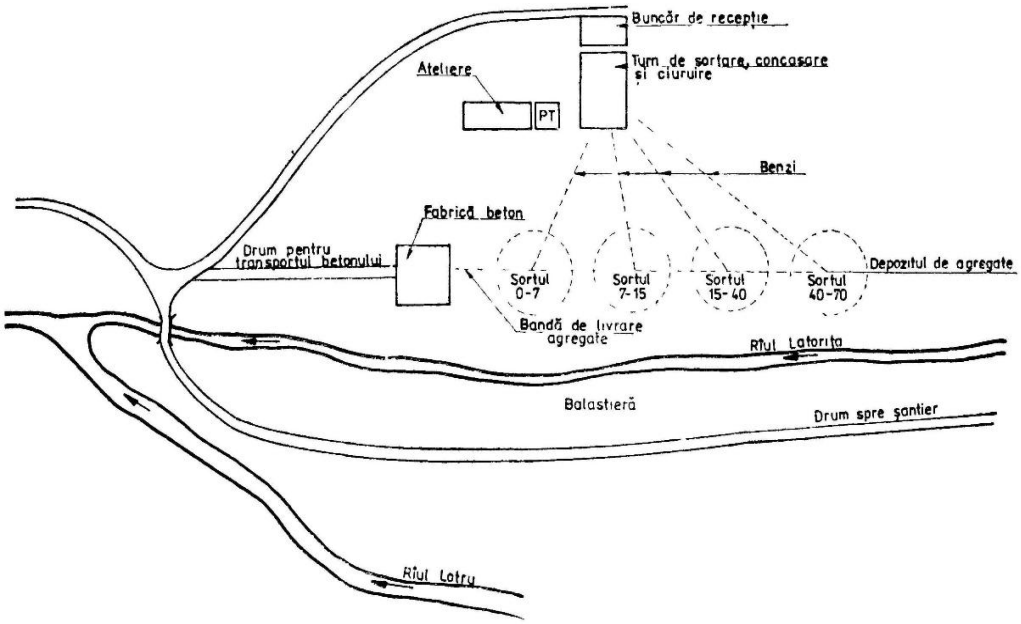


Figura 4.5 Platformă tehnologică pentru staţia de sortare
şi fabrica de betoane şi mortare

În figura 4.4 este prezentat modul în care trebuie organizat zona de exploatare a unei balastiere amplasate pe un râu. Organizarea unei balastiere presupune parcurgerea unor etape având prioritate pregătirea terenului adică, decaparea şi defrişarea balastierei şi apoi începerea exploatării.

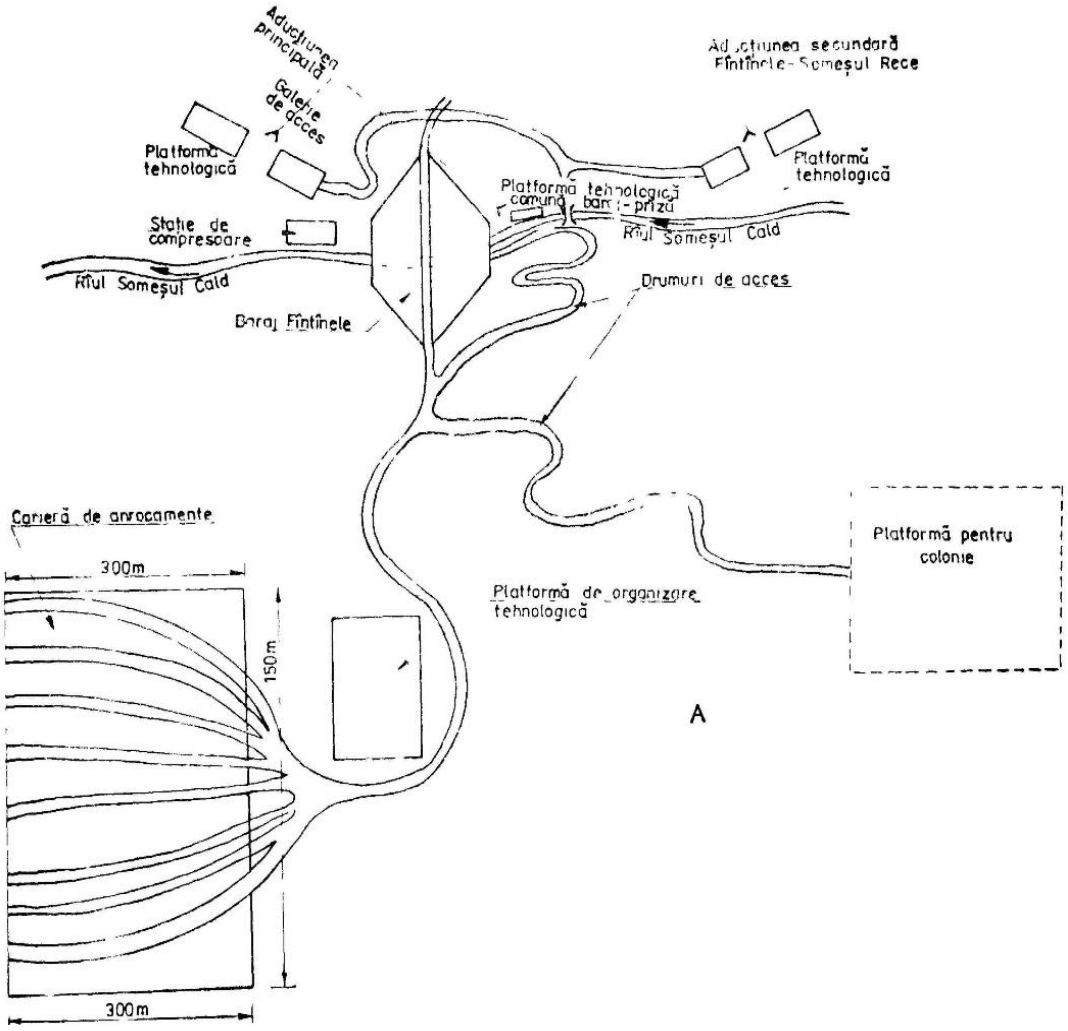


Figura 4.6 Cariera de exploatare a anrocamentelor

Agregatele exploatate se sortează şi apoi se folosesc la prepararea betoanelor şi mortarelor. Sorturile au de obicei granule de nisip (0-1 mm, 1-3 mm), mărgăritar (3-7 mm), pietriş (7-15 mm), piatră (15-30 mm), piatră mare (30-70 mm) şi piatră foarte mare (70-120 mm). Organizarea gospodăriei de agregate presupune depozitarea agregatelor pe sorturi pentru a putea asigura material necesar betoanelor şi mortarelor conform rețetei stabilite (figura 4.5).

În situația în care sursa de agregate de râu este amplasată la o distanță prea mare de locul de punere în operă se pot folosi agregate obținute prin concasarea rocilor urmată de separarea acesteia în granule diferite. Aceste platforme se amplasează la distanțe de maxim 5 km pentru a evita cheltuieli pentru transportul acestora la locul de punere în operă (de ex., barajul de anrocamente) (figura 4.6).

Platformele tehnologice din organizările de şantier situate în zonele de câmpie pot fi comune pentru obiectivele şantierului (baraj, centrală hidroelectrică, diguri, construcții etc.). Punctele de lucru sunt apropiate şi elementele organizării de şantier pot şi apropiate. Această situație poate duce la economii privind cheltuielile de organizare de şantier (figura 4.7).

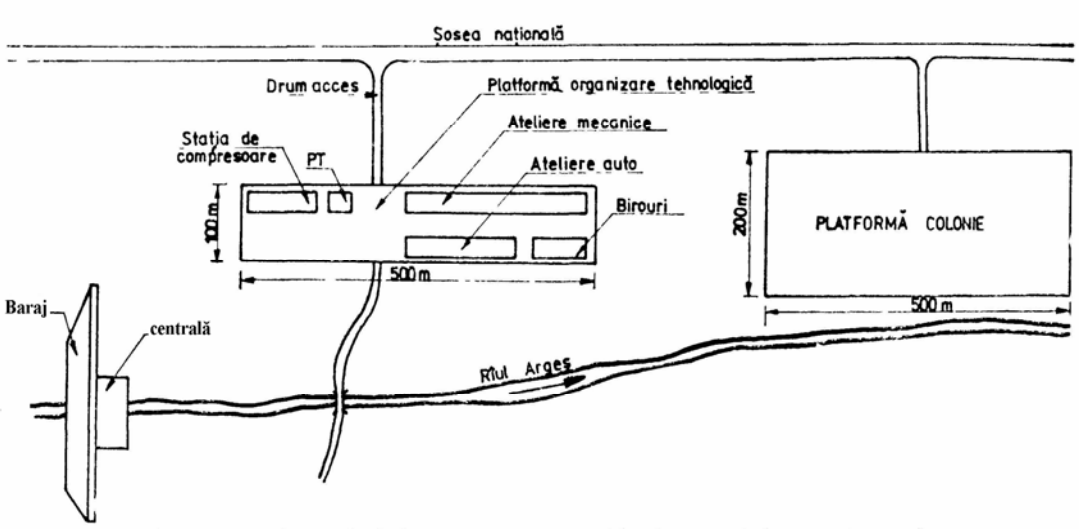


Figura 4.7 Platforma tehnologică pentru un şantier hidrotehnic din zona de câmpie

În cazul lucrărilor izolate se poate opta pentru o organizare de şantier izolată care să deservească acel punct de lucru (figura 4.8) [Simionescu Al., 1989].

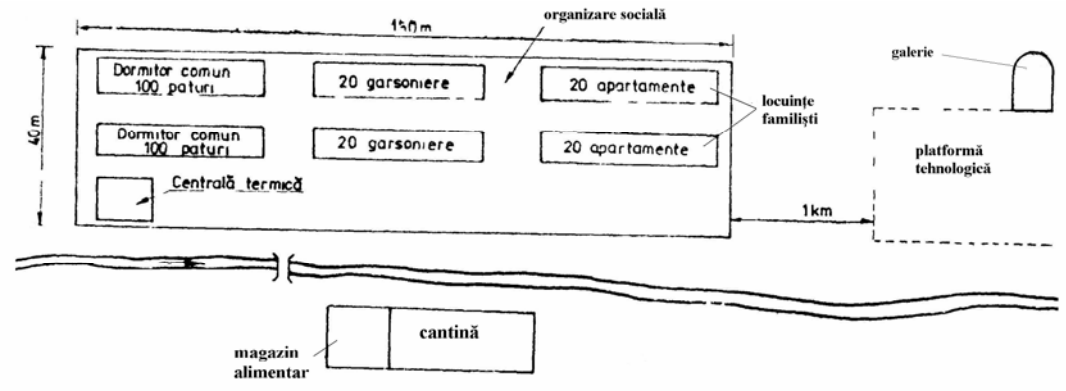


Figura 4.8 Organizarea unei colonii la o construcție izolată

4.2. REDUCEREA CHELTUIELILOR DE ORGANIZARE DE ŞANTIER CA URMARE A MINIMIZĂRII LUNGIMII REȚELELOR DE UTILITĂȚI

Execuția lucrărilor de construcții-montaj, la termen şi în condiții de eficiență sporită, este nemijlocit legată de modul în care s-a conceput şi s-a realizat organizarea de şantier.

Dimensionarea lucrărilor de organizare prin proiectul de organizare de şantier conduce la scurtarea perioadei de execuție, la reducerea costului lucrărilor şi la sporirea productivității muncii pe şantier. Organizarea unui nou şantier solicită rezolvarea unor probleme care se referă la asigurarea condițiilor pentru desfăşurarea activităților de bază îndreptată spre: crearea unor spații, a unor rețele de utilități (apă, căldură, aer comprimat, energie şi instalații aferente producerii acestora), a căilor de comunicație,

precum şi a unor ateliere, poligoane de prefabricate, staţii de betoane, de mortare, balastiere şi cariere de piatră.

Rezolvarea integrală sau parţială a unor asemenea probleme se precizează încă din faza de proiectare, cu ocazia elaborării proiectului de organizare a şantierului.

Acest proiect de organizare a şantierului are în vedere fondul de organizare de şantier cuantificat procentual în devizul-ofertă al antreprenorului. Din fondurile de organizare de şantier, unităţile de construcţii-montaj au libertatea de a executa întreaga gamă de lucrări de construcţii şi instrumente menite să asigure desfăşurarea în bune condiţii, a lucrărilor de bază.

Obiectivul de optimizare financiară este folosirea cât mai eficientă a fondurilor de organizare de şantier şi astfel minimizarea cheltuielilor de organizarea de şantier.

Principalele probleme care se ridica în cazul organizării şantierului sunt:

· calculul necesarului de personal şi a populaţiei şantierului;

· organizarea şi dimensionarea spaţiilor de servire a personalului şantierului;

· organizarea şi dimensionarea căilor de comunicaţii;

· organizarea şi dimensionarea lungimii reţelelor de utilităţi (optimizare cu ajutorul algoritmilor Kruskal şi Prim);

· determinarea consumului de utilităţi (adică a consumului de apă, de energie electrică, de căldură, de aer comprimat);

· organizarea teritoriului şantierului;

· amplasarea obiectelor de organizare de şantier;

· organizarea executării lucrărilor pe timp friguros.

Este esenţială minimizarea cheltuielilor legate de aceste activităţi, pentru că astfel se ajunge la costuri totale minime şi se reduce valoarea devizului general, aspect nelipsit de importanţă în activitatea de licitare ofertare în construcţii [Sălceanu Ctin., ş.a., 1993].

Una din utilităţile de bază pe un şantier de construcţii o reprezintă alimentarea cu apă. Alegerea amplasamentului unei surse de apă este diferită în cazul unei lucrări situate în zona de munte sau de la şes.

În cazul şantierelor amplasate în zone de de munte putem avea alimentare cu apă gravitaţională şi alimentare cu apă prin pompaj.

Şantierele de la câmpie pot fi alimentate cu apă prin pompaj.

Condiţiile pe care trebuie să le îndeplinească un amplasament sunt următoarele:

La lucrări de munte, pentru alimentări gravitaţionale

- debitul minim să fie corespunzător calculelor;
- apa să fie folosită pentru a putea servi atât în lucrările industriale, dar să îndeplinească şi funcţii de potabilitate;
- să aibă presiune suficientă lucrărilor pe care le deserveşte;
- sursa de apă să nu fie la distanţă mare; prin amplasament să fie mai ieftină captarea şi conductele de alimentare, decât energia electrică necesară pompajului;
- sursa să aibă debit constant atât vara cât şi iarna;
- să fie uşor accesibilă;
- să aibă drum de acces, pentru a putea transporta materialele necesare construcţiei pentru captarea şi execuţia aducţiunii apei.

Pentru execuţia unei alimentări de munte prin pompaj, sau a unei alimentări de câmpie tot prin pompaj, se impun următoarele condiţii de amplasament:

- sursa de apă să fie potabilă;
- să aibă debit de apă constant, atât vara cât şi iarna;
- să fie uşor accesibilă şi cu drum de acces, pentru a se putea transporta materialele de execuţie şi utilajele;
- să fie cît mai aproape de consumatori;

- debitul să fie corespunzător calculelor şi deci consumatorilor.

După ce s-a stabilit sursa de apă care va deservi şantierul, precum şi punctele de lucru care vor consuma atât apa potabilă, cât şi apa industrială, se poate trece la execuţia captării.

Este însă important ca mai întâi să se stabilească pe baza analizelor chimice, calităţile apei, respectiv dacă este potabilă. Este de preferat ca aceeaşi sursă să alimenteze toate nevoile şantierului, respectiv apa potabilă, colonia, dar şi lucrările tehnologice. În cazul când apa nu este potabilă, se va prevedea tratarea acesteia.

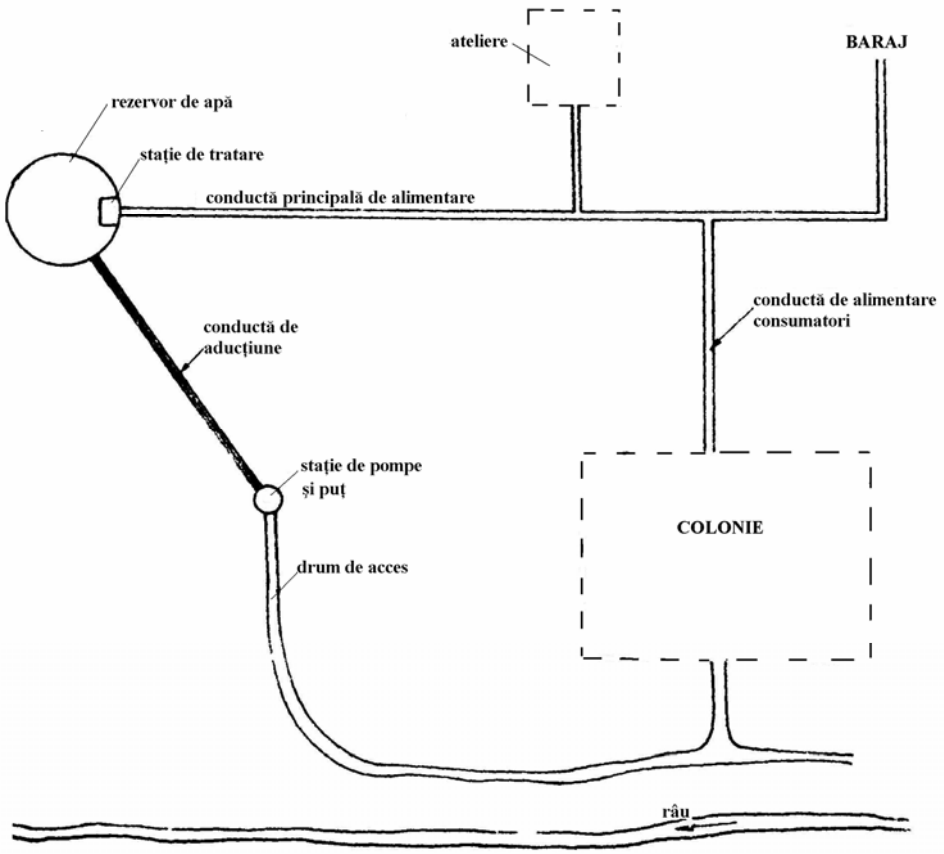


Figura 4.9. Alimentare cu apă cu puţ şi dren

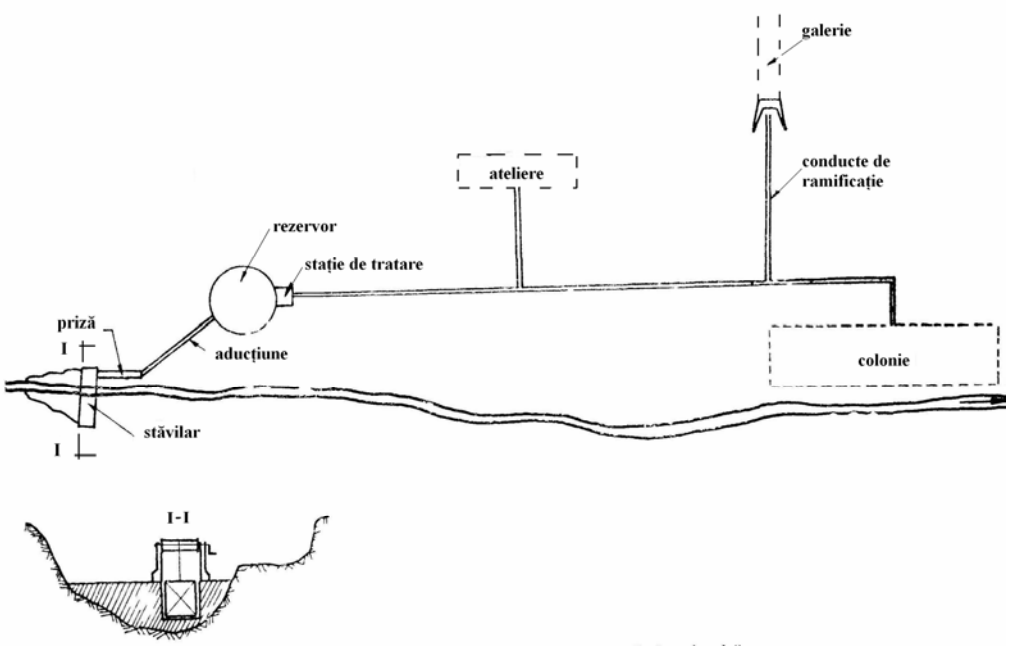


Figura 4.10. Alimentare cu apă cu sistem stăvilar şi priză

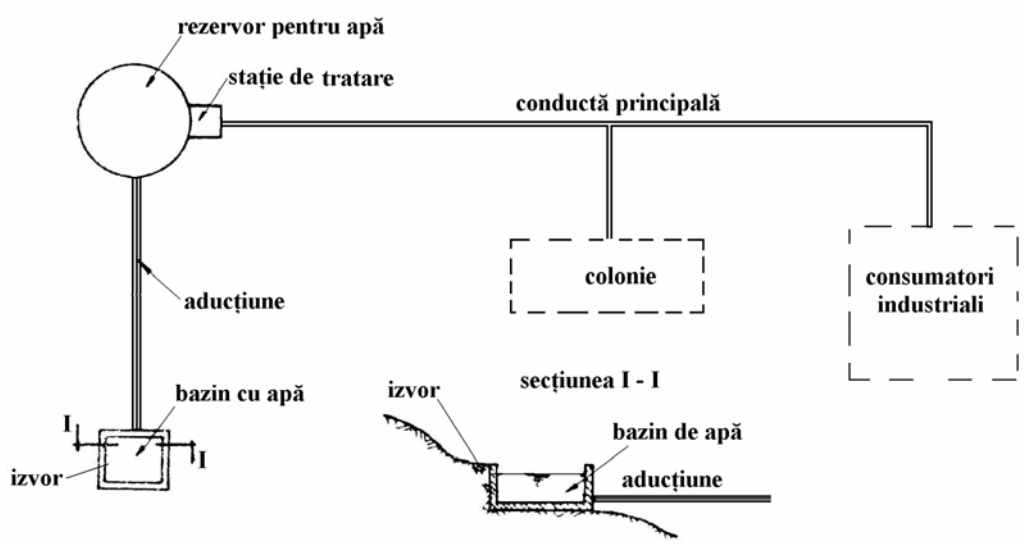


Figura 4.11. Alimentare cu apă din izvor

Avînd în vedere că aceste lucrări au o durată relativ scurtă, (maxim 5—10 ani), alimentările cu apă vor fi de următoarele tipuri:

- *captare pentru apă prin puț şi dren* (figura 4.9);
- *captare pentru apă cu stăvilar şi priză* (figura 4.10);
- *captare pentru apă din izvor natural* (figura 4.11);
- *captare pentru apă cu flotori şi pompe* (figura 4.12);
- *captare pentru apă cu platforme şi pompe*;
- *captare prin foraje în pânza freatică.*

Captările pentru apă cu stăvilar, din izvor natural cu puț şi cu dren se folosesc în general la munte, unde râurile au debite mici, apele sunt în general potabile, iar sursele au debite variabile.

La şes, unde râurile au debite mari, se folosesc captări de tipul cu pompe şi flotoare sau cu pompe şi platforme acoperite. În acest caz, sorbul pompei se montează direct în râu.

Execuția acestor tipuri de captări, pe flotor sau platformă, este foarte simplă si constă din lansarea la malul apei a unor flotori sau a unei plute din lemn ancorate bine la țărm şi pe care se montează pompele necesare.

Execuția drenului este relativ simplă şi constă din săparea unui şanț de 1,20 m lățime, iar de adâncime să ajungă la roca de bază, apoi executarea unei rigole de captare din beton, acoperită cu capace şi a unui filtru invers, din balast.

La un capăt sau în mijlocul drenului se execută un puț din beton, unde se montează pompele sau se pun direct conductele de alimentare la captările gravitaționale. Captările cu stăvilar constau dintr-un mic baraj de beton cu o priză de apă, la care se montează conductele de alimentare gravitațională.

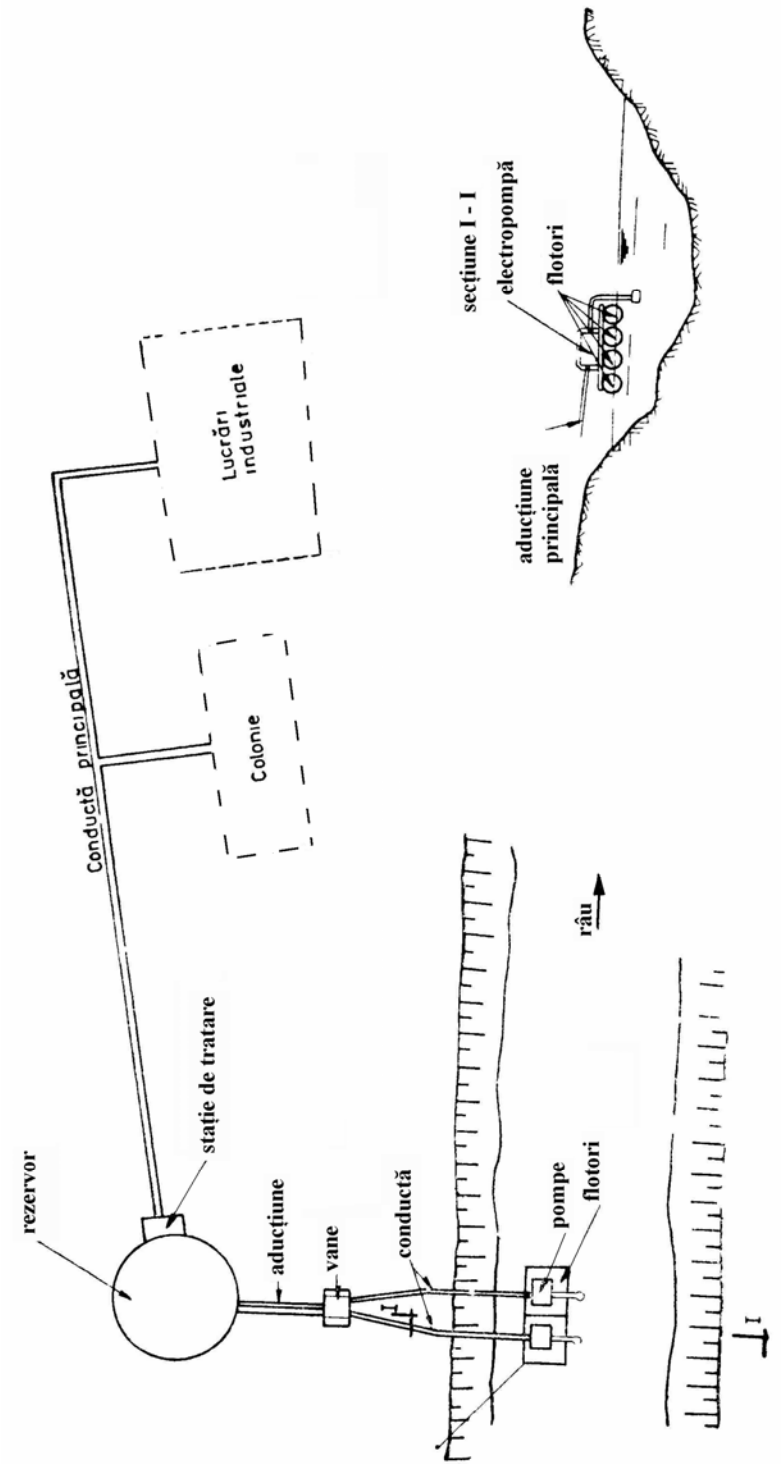


Figura 4.12. Alimentare cu apă din râu şi sistem flotor şi pompă

4.2.1. MINIMIZAREA LUNGIMII REȚELELOR DE UTILITĂȚI

Antreprizele de construcţii moderne, cu dotare complexă, sunt mari consumatoare de apă şi energie, iar lucrările pentru realizarea instalaţiilor necesare şi a reţelelor de distribuţie ocupă un volum important din totalul construcţiilor de organizare.

Pentru a realiza rețele provizorii cu cheltuieli minime, se urmăresc, încă din faza de proiectare două probleme: lungimea rețelelor şi dimensionarea acestora.

În multe cazuri rețelele se proiectează fără a li se calcula lungimea minimă. Proiectantul trasează rețeaua pe unde apreciază ca va obține o lungime minimă. În plus sunt încă situaţii în care proiectantul nu cunoaşte, la momentul potrivit, amplasarea exactă a tuturor obiectelor de bază, ceea ce face dificilă obținerea unei rețele cu amplasament optim.

Lungimea minimă a unei rețele provizorii (sau definitive) se poate determina cu ajutorul algoritmilor Kruskal şi Prim care permit obținerea unui arbore parțial de valoare totală minimă.

Se numeşte arbore un graf finit conex fără cicluri şi având cel puțin 2 vârfuri.

4.2.1.1 ALGORITMII KRUSKAL ŞI PRIM

Primul pas în determinarea lungimii minime a unei rețele este de a construi graful rețelei după următoarele reguli:

- vârfurile vor fi alcătuite din punctele care trebuie legate la rețeaua de utilităţi şi vor fi simbolizate cu numere (1, 2, ..., n);
- pentru fiecare pereche de vârfuri se determina daca pot fi legate între ele şi în acest caz între cele 2 vârfuri se trasează o muchie, a cărei lungime va fi egală cu distanța dintre cele 2 vârfuri (exprimată în unităţi de lungime);

- dacă oricare două dintre aceste vârfuri nu pot fi legate între ele, lungimea muchiei aferente acestor vârfuri va fi egală cu 0;
- aceste distanțe (lungimile muchiilor) se înscriu într-o matrice simetrică, în care ***d[i,j]*** este distanța dintre punctele (vârfurile) ***i*** şi ***j***.

Algoritmul Kruskal urmăreşte să se aleagă de fiecare dată muchia cu valoarea cea mai mică, fără însă a forma astfel un circuit cu muchiile alese anterior. Conform definiției de mai sus, se va alege o mulțime de ***n-1*** muchii ce vor forma un arbore de valoare minimă.

Prin algoritmul Kruskal se obține rețeaua cu lungime minimă, dar există senzația că aceste muchii sunt trasate aleator şi numai la trasarea ultimei muchii se obține arborele ca un întreg.

Algoritmul Prim (scris în 1957 si implementat în 1961 de către Dijkstra) elimină acest neajuns. Se operează cu datele din acelaşi graf.

Se porneşte inițial, ca şi în algoritmul lui Kruskal cu ***n*** vârfuri izolațe (adică de la cele ***n*** vârfuri, dar fără a fi trasat între aceste vârfuri vreo muchie), urmând ca pe parcurs aceste vârfuri sa fie legate între ele de arborele cu lungimea minimă. Etapele care trebuie urmate sunt:
- pornind de la vârful nr.1 alegem şi trasăm, dintre toate muchiile care pornesc din acest vârf, muchia cu lungimea minimă. Astfel arborele va fi alcătuit din 2 vârfuri şi o muchie;
- se analizează toate muchiile care pornesc din cele 2 vârfuri ale arborelui şi se trasează pe cea cu lungimea minimă fără însă a se forma un ciclu.

Se procedează identic în continuare. La fiecare pas ***k*** vom avea un arbore alcătuit din: ***k*** muchii, ***k+1*** vârfuri şi ***n-k-1*** vârfuri izolate.

Se continuă algoritmul până când toate vârfurile vor face parte din arborele de cost minim.

De exemplu, se cere minimizarea unei rețele de alimentare cu apă de lungime minimă pentru un şantier care are obiecte de bază şi obiecte de

organizare de şantier. Distanţele între toate obiectele de bază, de organizare de şantier şi sursa de alimentare cu apă se înscriu într-o matrice simetrică. Graful construit pe baza acestei matrice poate avea forma prezentată în figura 4.13.

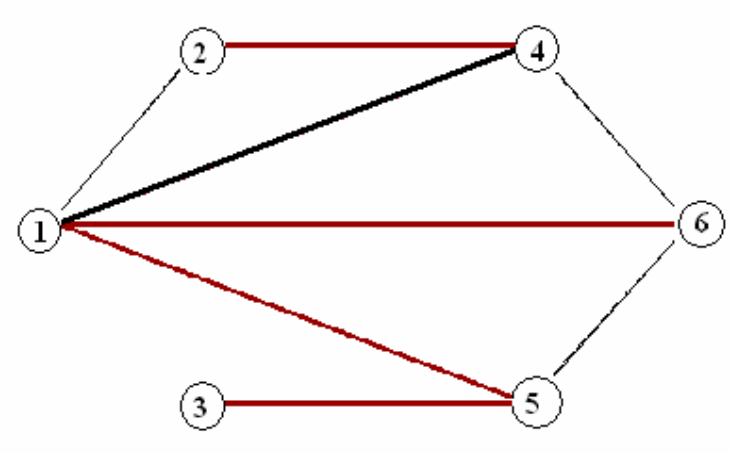


Figura 4.13 Graful reţelei de alimentare cu apă

În cadrul unei reţele de alimentare cu apă diferenţa dintre reţeaua minimă şi una aleasa aleatoriu poate fi semnificativă. În cazul din figura 4.13. unde lungimea maximă ar fi 260 m diferenţa este:

$$L - L_{min} = 260 - 120 = 140 \text{ m}$$

Dacă executarea unui metru din reţeaua respectiva costa c = 20 lei (aceste costuri includ manopera, materialele, utilajele, transport), putem calcula cheltuielile pentru executarea reţelei în cele 2 cazuri:

- reţeaua cu lungimea minimă: $120 \cdot 20 = 2400$ lei
- reţeaua aleasă aleatoriu: $260 \cdot 20 = 5200$ lei

Alegerea arborelui minim duce la reducerea cheltuielilor cu 2800 lei ($140 \cdot 20$ lei).

4.4. APROVIZIONAREA CU MATERIALE A ŞANTIERELOR DE CONSTRUCȚII HIDROTEHNICE

Materialele, utilajele de construcții, combustibilii etc. Sunt materiale au o pondere de aproximativ 60% din valoarea obiectelor de construcție.

Necesitatea aprovizionării unui şantier de construcții hidrotehnice cu materiale la momentele corespunzătoare eşalonării calendaristice şi în cantitățile necesare face necesară organizarea aprovizionării cu ajutorul unor grafice de aprovizionare şi consum a materialelor. Aceste grafice pot fi integrale sau diferențiale.

Graficul diferențial de consum şi aprovizionare se întocmeşte după următoarele etape:

- se consideră pe abscisă timpul conform eşalonării calendaristice;
- pe ordonată se consideră consumul zilnic pentru materialul considerat (conform activităților care consumă acel material); acest consum se poate determina pe baza relației următoare:

$$C_{zi} = \frac{Q_i \cdot N_{ci}}{d_i} \qquad (4.1)$$

unde $\boldsymbol{Q_i}$, este volumul de muncă aferent procesului de construcție $\boldsymbol{i}$; $\boldsymbol{N_{ci}}$, norma de consum specific, stabilită conform indicatoarelor de norme de deviz, pentru materialul analizat aferentă procesului de construcție $\boldsymbol{i}$; $\boldsymbol{d_i}$, durata de execuție a procesului de construcție conform planului calendaristic.

În figura 4.14. este prezentat un grafic diferențial de aprovizionare şi consum.

Cantitatea de material cu care trebuie aprovizionat şantierul în decursul unei zile se determină în funcție de mijloacele de transport disponibile pentru

antrepriza de construcție, de utilajul care poate fi închiriat de aceasta sau de modul în care trebuie transportat materialul (de ex., cimentul vrac care poate fi transportat cu vagoane dotate corespunzător etc.), şi reprezintă ritmul de aprovizionare (***R_a***).

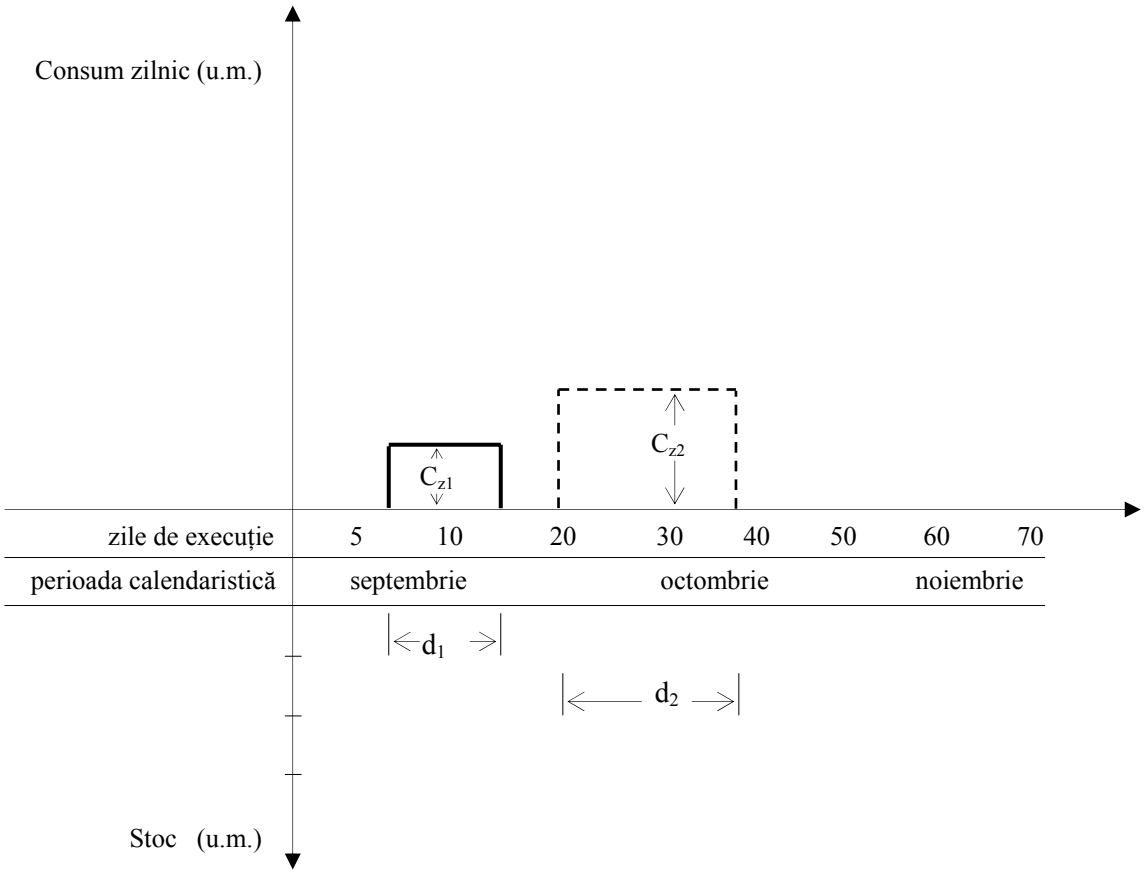


Figura 4.14 Grafic diferențial de aprovizionare şi consum

De asemenea, trebuie să se țină seama de posibilitățile antreprizei de a stoca acest material (magazii, silozuri etc.) de stocul necesar de material calculat în zile etc. Pentru aceasta pe ordonata negativă se poate trasa curba stocului de materiale.

Aprovizionarea cu materiale a şantierului se poate face în tranşe sau continuu în funcție de mijlocul de transport aflat la dispoziție.

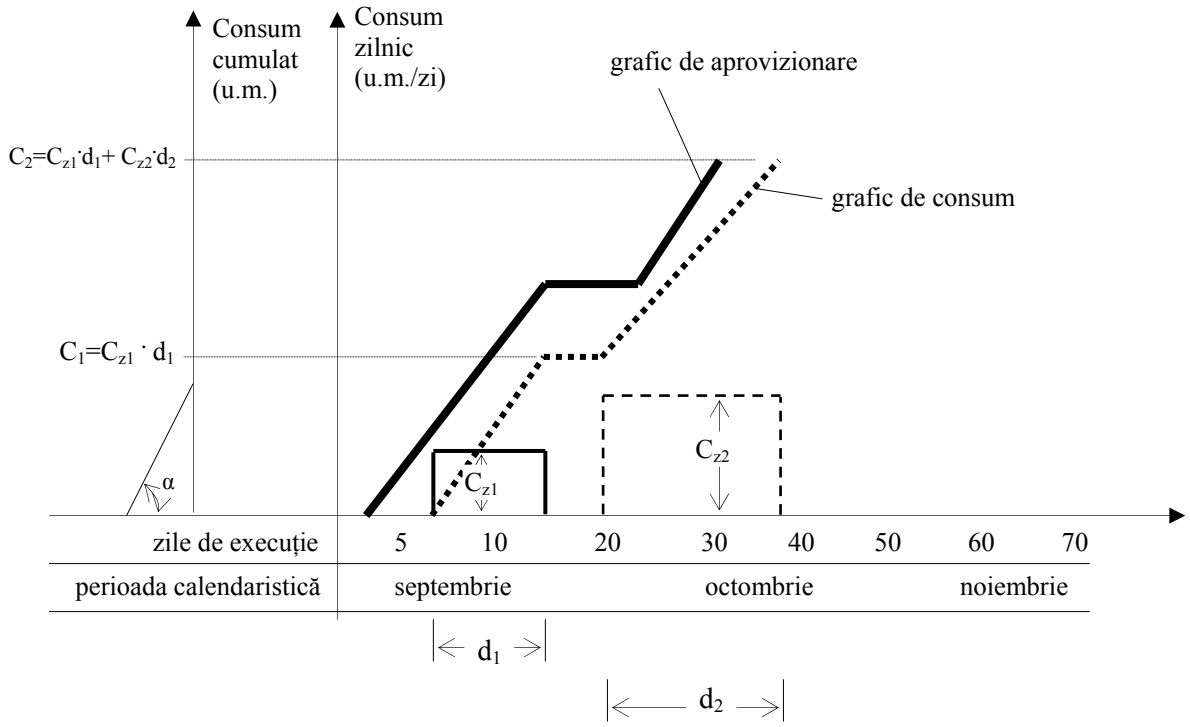


Figura 4.15. Grafic integral de consum şi aprovizionare continuă

Cantitatea de material aflată în stoc se poate determina făcând diferența dintre cantitatea de material aprovizionată ($d_i \cdot R_a$) şi cantitatea consumată până în acel moment. Pentru cazul în care pe un şantier există variații mari ale consumului de la o perioadă la alta se folosesc graficele integrale.

Aceste au o structură asemănătoare graficelor diferențiale pe abscisă fiind reprezentat timpul conform eşalonării calendaristice şi pe ordonată consumul zilnic (figura 4.15).

Se trasează graficul consumului zilnic şi apoi diagrama consumului cumulat pentru care se ia o scară deformată care să permită trasarea curbei consumului cumulat în limite convenabile.

Ordonata de pe curba consumului cumulat reprezintă suma cantităților consumate anterior datei corespunzând zilei ***i***:

$$C_i = \sum C_{zi} \cdot d_i \qquad (4.2)$$

Pentru a trasa curba de aprovizionare continuă se stabileşte un interval de zile de siguranța înainte de începerea consumului când va începe aprovizionarea şi ținând cont de mijloacele de transport disponibile se stabileşte un ritm de aprovizionare (*de exemplu, dacă se foloseşte un camion de 7,5 tone care efectuează două transporturi pe zi şi se începe aprovizionarea cu 5 zile înainte de începerea consumului se stabileşte un ritm de 15 tone/zi şi 75 tone în 5 zile*).

Se poate stabili pentru fiecare ritm de aprovizionare un coeficient unghiular dat de tangenta unghiului α (figura 4.15.).

$$\text{tg}\alpha = \frac{C}{d} \qquad (4.3)$$

unde ***C*** este cantitatea totală aprovizionată timp de ***d*** zile.

Dacă se doreşte mărirea ritmului de aprovizionare în cazul în care există riscul ca materialul consumat să depăşească cantitatea din stoc atunci se poate mări ritmul de aprovizionare fie prin mărirea cantității aprovizionate (*de ex., efectuarea a trei transporturi de câte 7,5 tone în loc de două*) fie prin micşorarea duratei în care se aprovizionează cantitatea de material stabilită.

Stocul de material existent în spațiile de depozitare (magazii, silozuri, platforme etc.) se poate aprecia în unități de măsură de material (m^3, tone, kg, bucăți etc.) sau în câte zile va mai putea materialul din stoc să susțină consumul de pe şantier.

În cazul în care nu se poate realiza o aprovizionare continuă se poate utiliza aprovizionarea în tranşe (specifică transportului pe cale ferată) (figura 4.16.).

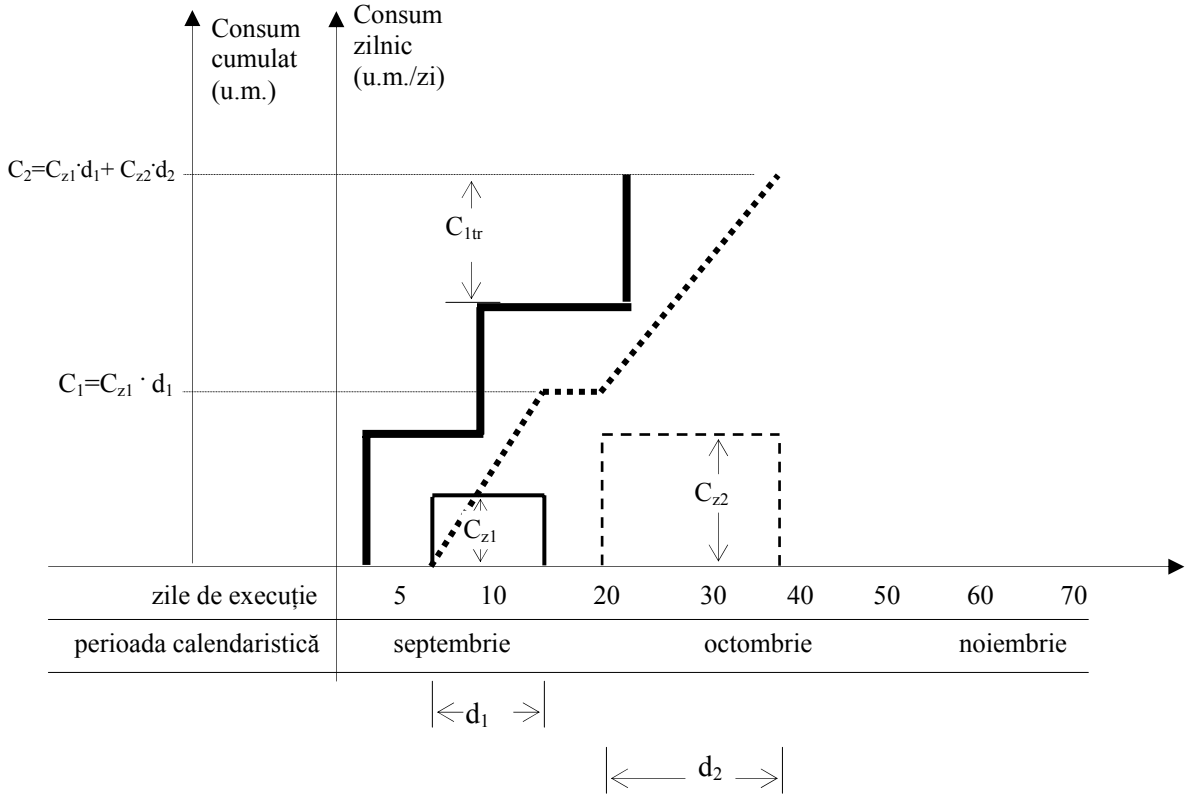


Figura 4.16. Grafic integral de consum şi aprovizionare în tranşe

Cantitatea aprovizionată într-o tranşă (***C1tr***) depinde de capacitatea mijlocului de transport.

Numărul de tranşe (***Ntr***) necesare aprovizionării cantităţii totale de material (***C*=*Cz1*·*d1* + *Cz2*·*d2* + ….+ *Czn*·*dn***), va fi dată de raportul:

$$N_{tr} = \frac{C}{C_{1tr}} \qquad (4.4)$$

Problemele legate de aprovizionarea cu materiale a şantierelor de construcţii trebuie corelate cu cele de dimensionare şi de gestionare a stocurilor, stocul fiind privit ca un amortizor al diferitelor neuniformităţi legate de execuţia lucrărilor [Crăciun I., 1993].

BIBLIOGRAFIE

1. Crăciun I., *Gestion du stock des materiaux dans les chantiers de constructions hydrotechniques*, Al. II-lea Simpozion Internațional Francofon al Apei, 27-29 mai, Iaşi, pg. 1993
2. Boldur-Lățescu G., Săcuiu I., Țigănescu E., *Cercetare operațională cu aplicații în economie,* Ed. Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1979
3. Dima A., *Economia construcțiilor şi legislație*, ed. Rotaprint, I.P.Iaşi, 1989
4. Dima A., *Organizarea şi conducerea producției de construcții hidrotehnice*, Ed.Rotaprint, I.P.Iaşi, 1984
5. Hagiu V., Şerbănoiu I., *Organizarea şi conducerea producției de construcții*, Ed. Rotaprint, I.P.Iaşi, 1987
6. Hagiu V., Şerbănoiu I., *Îndrumar pentru proiectarea organizării execuției proceselor de construcții*, Ed. Rotaprint, I.P.Iaşi, 1982
7. Mihăilescu Şt., Goran V., Bratu P., *Maşini în construcții,* Ed. Tehnică, Bucureşti, 1986
8. Popovici A., Popescu C., *Baraje pentru acumulări de apă,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1992
9. Sălceanu C., Lupăşteanu R., Crăciun I., *Indrumar economic în construcții*, Ed.Rotaprint, I.P.Iaşi, 1992
10. Simionescu Al., *Organizarea marilor şantiere*, Ed. Tehnică, Bucureşti, 1989
11. Suman R., ş.a. *Tehnologii moderne în construcții,* Ed. Tehnică, Bucureşti, 1988
12. Şerbănoiu I., Ciocan I., *Organizarea proceselor de construcții,* Rotaprint U.T.Iaşi, 2003
13. * * * *Indicator de norme de deviz pentru lucrări de construcții hidrotehnice la suprafață şi în subteran – H1*, ICCPD în Construcții, Bucureşti, 1977
14. * * * *Indicator de norme de deviz pentru construcții civile şi industriale - C*, ICCPD în Construcții, Bucureşti, 1981

15. * * * *Indicator de norme de deviz pentru alimentări cu apă şi canalizare - Ac*, ICCPD în Construcţii, Bucureşti, 1981

16. * * * *Indicator de norme de deviz pentru lucrări de îmbunătăţiri funciare şi corecţia torenţilor - If*, IGSDCPE în Construcţii, Bucureşti, 1974

17. * * * *Indicator de norme de deviz pentru lucrări de terasamente - Ts*, INCERC, Bucureşti, 1974

18. * * * *Norme de muncă unificate pe economice în construcţii*, M.C.Ind.

19. * * * *Microsoft Office, Microsoft Project*

20. * * * *Construcţii hidroenergetice în România 1950-1990*, Hidroconstrucţia, Ed. Arta grafică, Bucureşti, 1988